21世纪高等院校教材·环境类

环境工程学

郑　正　主编

北　京

内 容 简 介

本书作为大学本科教材,与国内同类教材相比,内容更新,在学术思想和体系结构方面更具时代特色。其主要内容包括:环境立法与法规,水资源与水处理,水、大气以及固体、噪声、放射性等污染的现状、成因、影响危害和治理技术,清洁生产,环境管理和环境影响评价等。

本书可作为环境科学、环境工程及相关专业的本科教材,对上述专业的教师、科研人员和技术人员也有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

环境工程学/ 郑正主编. —北京:科学出版社,2004
(21 世纪高等院校教材·环境类)
ISBN 7-03-012837-0

Ⅰ. 环… Ⅱ. 郑… Ⅲ. 环境工程学-高等学校-教材 Ⅳ. X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 004858 号

责任编辑:刘俊来 王志欣/ 责任校对:钟 洋
责任印制:安春生/ 封面设计:陈 敬

出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
http:// www.sciencep.com

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 8 月第 一 版 开本:B5(720×1000)
2004 年 8 月第一次印刷 印张:47 1/4
印数:1—2 500 字数:941 000

定价:66.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

目　　录

第一章　21 世纪的环境工程教育兼代序 …… (1)
第二章　环境立法和法规 …… (6)
　第一节　环境法的基本概念 …… (6)
　第二节　我国环境保护法体系 …… (10)
　第三节　我国的环境法律制度概要 …… (12)
　第四节　我国环境立法面临的挑战及其发展趋势 …… (19)
　参考文献 …… (20)
　附录　中华人民共和国环境保护法 …… (21)
第三章　水资源及其开发利用 …… (25)
　第一节　水循环和水量平衡 …… (25)
　第二节　地表水 …… (30)
　第三节　地下水 …… (36)
　第四节　水资源 …… (44)
　参考文献 …… (49)
第四章　水污染与水质管理 …… (50)
　第一节　水污染物及其来源 …… (50)
　第二节　水质指标与水质标准 …… (59)
　第三节　水体自净与水环境容量 …… (83)
　第四节　我国的水环境污染现状 …… (88)
　第五节　水质管理 …… (96)
　参考文献 …… (101)
第五章　废水处理工程 …… (102)
　第一节　废水水质、污染物和对环境的影响 …… (102)
　第二节　废水特性 …… (110)
　第三节　废水收集 …… (131)
　第四节　一级处理 …… (148)
　第五节　好氧生物处理 …… (175)
　第六节　厌氧处理 …… (197)
　第七节　水生植物系统 …… (205)
　第八节　湿地处理系统 …… (210)

第九节　土地处理…… (219)
第十节　物理和化学处理…… (229)
第十一节　高级处理…… (259)
参考文献…… (290)
第六章　水的回用…… (292)
第一节　水的回用与废水资源化…… (292)
第二节　城市污水回收技术…… (293)
第三节　工业冷却水的循环与水质稳定…… (300)
第四节　废水土地处理系统…… (304)
参考文献…… (307)
第七章　非点源污染…… (308)
第一节　水体非点源污染…… (308)
第二节　水体非点源污染的防治…… (310)
第三节　其他非点源污染…… (321)
参考文献…… (329)
附录　禁磷不能“一刀切”…… (330)
第八章　空气污染…… (333)
第一节　大气的结构与组成…… (333)
第二节　大气污染及其来源…… (336)
第三节　空气污染物的不良效应…… (340)
第四节　空气质量标准…… (345)
第五节　室内空气污染…… (369)
参考文献…… (376)
第九章　大气污染预防与控制…… (377)
第一节　基线调查…… (379)
第二节　大气污染因子识别…… (381)
第三节　大气污染预防机会识别…… (387)
第四节　大气污染预防技术对策…… (389)
参考文献…… (395)
第十章　大气污染治理…… (396)
第一节　吸收…… (397)
第二节　吸附…… (406)
第三节　热分解…… (415)
第四节　冷凝法…… (429)
第五节　电物理化学法…… (431)

第六节　生物法…… (434)
第七节　高空排放…… (438)
第八节　颗粒状污染物净化…… (440)
参考文献…… (454)
第十一章　固体废弃物处理与资源化…… (455)
第一节　固体废弃物的定义、产生及分类 …… (455)
第二节　固体废弃物的特点和危害…… (458)
第三节　控制固体废弃物污染的技术政策…… (460)
第四节　固体废弃物的管理技术…… (462)
第五节　固体废弃物的资源化技术…… (465)
第六节　固体废弃物的处理处置方法…… (485)
参考文献…… (494)
第十二章　剩余污泥的处理与处置…… (495)
第一节　污泥的稳定…… (496)
第二节　调节…… (506)
第三节　浓缩…… (507)
第四节　脱水…… (511)
第五节　干燥…… (523)
第六节　残余物排放…… (531)
参考文献…… (544)
第十三章　污染修复技术…… (546)
第一节　修复对象与污染物…… (546)
第二节　修复工具与微生物…… (550)
第三节　可行性研究…… (557)
第四节　修复方法…… (560)
第五节　修复技术的发展…… (567)
参考文献…… (567)
第十四章　有害废物…… (569)
第一节　有害废物的来源和影响…… (569)
第二节　有害废物的特征与分类…… (571)
第三节　有害废物处理及安全处置技术…… (573)
参考文献…… (582)
第十五章　噪声与振动公害控制…… (584)
第一节　声波的基础知识…… (584)
第二节　噪声的危害和评价…… (585)

第三节　噪声的测量…… (592)
第四节　吸声…… (593)
第五节　隔声…… (598)
第六节　消声器…… (601)
第七节　隔振与阻尼…… (606)
参考文献…… (608)
第十六章　放射性废物管理…… (609)
第一节　放射性废物概要…… (609)
第二节　放射性废物处理…… (619)
第三节　放射性固体废物的处理…… (628)
第四节　放射性废物的包装…… (630)
第五节　放射性废物的暂存与运输…… (632)
参考文献…… (637)
第十七章　清洁生产…… (639)
第一节　工业企业的清洁生产…… (639)
第二节　一些和清洁生产相近的术语…… (652)
第三节　清洁生产范例…… (672)
第四节　清洁生产内涵的扩展…… (676)
第五节　第三产业的清洁生产…… (712)
参考文献…… (713)
第十八章　环境管理与环境影响评价…… (715)
第一节　环境管理…… (715)
第二节　环境影响评价…… (729)
参考文献…… (743)
附录　中华人民共和国环境影响评价法…… (744)

第一章　21 世纪的环境工程教育兼代序

人类已经进入了 21 世纪。在 20 世纪里,人们发明了计算机,改变了人类社会的各个方面,从军事尖端武器到家用电器;人们登上了月球,第一次使人类活动范围突破了地球的界限,扩展到了太空;人们已经完成了人类 3 万个基因的测序工作……人类的力量空前发展,乐观者认为人类确实可以完全了解自己、了解自然、改变自然,具备主宰世界的能力,但乐极也容易生悲。

为什么生态环境恶化和资源匮乏都在 20 世纪充分暴露?最重要的原因就是人类的科学技术水平攀升到一个前所未有的高度,因而破坏能力也前所未有。人类的所作所为对环境产生了重大的甚至根本性的影响。20 世纪以来人类最重大的两项发明创造是:

①人类用自己的智慧创造了核弹头,据估计,总当量相当于 150 亿吨 TNT,是第二次世界大战中全世界所使用的炸药总量的 50 倍。按世界人口 60 亿计算,每个人都坐在 2 5 吨的炸药上。这些核弹头足以在瞬间毁灭地球和人类。

②人类用自己的智慧创造了“克隆”技术,克隆出了羊、牛等动物,是否会克隆出人来?克隆技术是否会用到战争中去?是否又是一个地球与人类的克星?目前还是一个未知数。

第二是生产力发展到前所未有的程度。生产力的发展也是一柄双刃剑,例如,现代工业、现代农业一方面正源源不断地为人们生产出异常丰富的产品以满足各种不同的需要。但与此同时,现代工业,尤其是与化学相关的工业正在加速地将各种资源变成废料甚至是污染物。石油工业正在加剧生物单一性和土壤的退化,以及面临污染。这两者结合起来造成了当今的世界,特别是我们国家,青山越来越成稀罕物,森林覆盖率降到只有百分之十几,绿水难得见,湖泊河流既黑且臭。文人墨客再也没有雅兴欣赏秦淮风月,朱自清也不会再流连桨声灯影里的秦淮河了。

而使得生态环境恶化和资源匮乏更显突出的是人口的剧增。半个世纪里我们国家的人口增长了两倍,导致许多地方的资源与空间的承载能力都接近甚至超过了临界点,因此在环境恶化和资源短缺上陷入了恶性循环,并呈加速状态。

所有这一切不能不深深地影响到 21 世纪的环境工程教学。我们认为,面向 21 世纪的环境工程教学首先要改变观念。

(1)要改变人类中心主义的思想观念

人类中心主义的思想由来已久,人们自诩为万物之灵,是唯一能够思维的生物,甚至有许多人认为整个宇宙也只有我们地球人类这么一种高级智慧生命。人

类基本上不尊重其他生命,更不用说非生命的物质了。一些书籍介绍一种动物时,常常是肉可食用,皮毛可保暖,等等。

人们在古代就希望有改天换地、主宰自然的能力,随着 20 世纪科学技术的大发展,人们更有理由相信:没有什么是人类不能掌握的,没有什么是人类不可以做到的。人们已经造出了核武器;人们发明了计算机,人的能力得到无限的外延;人们还能干"上帝"才能做的事情——创造生命。人类显然是世界的中心,是世界的主宰力量。

那个为了个人走路方便而要将家门前两座大山搬走的愚公备受赞赏,根本就没有人注意到愚公所为可以方便一家人,但对环境造成了多大的破坏!还有那个共工与人争斗,输了,于是一怒之下就一头撞向不周山,结果把天柱撞断了,天塌下来了,暴雨下个不停,洪水滔天,地球上的生命遭到浩劫。要不是大禹采用疏导的方法,历经千辛万苦,终于把大水导向东海,还有女娲补了天,真不知道地球上还会不会有人类生存。但是共工这么一个破坏环境的罪魁祸首却被一些人当作英雄来赞颂。

那么人类是不是宇宙的中心呢?

整个宇宙是否只有我们地球人类这么一种高级智慧生命?既没有确切的证据,也没有任何办法来证明。相反,从哲学角度来看,宇宙何其广大,星系如此众多,存在不止一个高级生命倒是更为合理。

假以时日,随着科学技术的进一步发展,人类是否可以了解和掌握自身和宇宙的一切知识和奥秘?庄子说,"吾生也有涯,而知也无涯,以有涯随无涯,殆矣!"从时间和空间来说,世界是无穷无尽的,因此对其认知也是无穷无尽的,而不管是个体的人,还是作为人类整体,都是有限的存在,故人类是不能做到,甚至是远不能做到了解和掌握自身和宇宙的一切知识和奥秘的。

既然如此,人类谈何是世界的中心,是世界的主宰力量!事实上人类有诸多先天的局限性,人们的行为带有很大的盲目性,比如说:核武器使全人类坐在炸药桶上,整个地球是陪绑;测定了基因排序,克隆了牛羊,正蓄势要克隆人类自己,这很可能就是潘多拉的盒子被打开了;还有今天生态环境的恶化和资源的日趋匮乏。

(2)环境工程的主要教学内容要延续

过去的一个世纪,环境工程的定义、内涵均已逐渐明确,角色定位也已基本完成。以前的人们用"卫生工程师"这个术语来称呼那些设计给水和排水系统以及其他公众健康保护设施的工程师们。

环境工程始于社会对安全的饮用水以及液体和固体废弃物管理的需求。城市化和工业化是导致很多地区不卫生状况的重要因素。"公众健康"和"卫生"等术语最早是在 19 世纪初应用于那些寻求解决消灭由水传播的疾病的技术与方法的工程师身上的。后来对环境工程师而言消除空气和陆地污染成为新的挑战。目前,有毒有害物质的管理是新增的热点问题。

环境工程对于保护环境和有效管理自然资源的设施的开发是至关重要的。环境工程师对于空气、陆地和水环境中的生物、化学和物理反应以及改进包括3R原则,即“减量化(reduce)”、“再使用(reuse)”和“再循环(recycle)”在内的工艺技术和综合管理系统有特殊的兴趣。

传统的环境工程师接受的是土木工程的基本教育和训练。为了开拓他们的眼界和能力,当代的环境工程师寻求在包括生物学、化学工程、化学和水力学的专业领域内接受大学教育和研究生教育。

环境工程的主要专业已经构建得很完备了,即:空气质量控制、给水管理、废水处理、(暴)雨水管理、固体废弃物管理和有害物质管理等。其他专业包括工业卫生、噪声控制、海洋学和辐射防护等。

(3)环境工程的教学内容要革新

今天,全国开设环境工程学科专业的学校已达100余所,这充分说明了出于发展的需要和健康、安全的需要,该学科在我国正前所未有地受到重视,有着非常光明的发展前景。

我们今天所面对的世界已经发生了深刻的变化,我们人类自身也发生了深刻的变化,当然我们对环境的认识和要求都发生了深刻的变化。于是,不可避免地,环境工程的教学内容要革新。

目前环境工程的内容主要是基于污染已经产生后应该如何去研发经济合理且有效率的处理处置技术并予以实施。20世纪末欧美国家已经发起和推广清洁生产,这是一个很大的进步,标志着人们已经认识到传统环境工程那种末端治理是“亡羊补牢”,更积极的合理的做法是从源头就加以控制。清洁生产主要强调优化生产工艺,最大限度地有效利用资源,减少废弃物排放,从而减轻污染负荷的增加。因此我们认为环境工程的教学内容应该大大加强有关清洁生产方面的内容。现在我们国家已经加入WTO,这对我们意味着很大的机遇,但同时也意味着很多挑战,其中最重要的挑战很可能来自环境壁垒。我们应该顺应形势,在环境工程的教学改革中注意介绍IS014000,乃至刚崭露头角的IS018000。

前面已论述了人类不可能也不应该认为自己是世界的中心和主宰。中国古代哲人早就提出了“天人合一”的思想。我们应该着力推进环境工程的最高目标和准则就是促进人与环境的和谐关系这样一种思想观念。末端治理虽然是目前环境工程的主要工作任务,但这是远远不够的,这只是下策,疲于应付而已。清洁生产在观念上前进了一大步,可能会大大延缓生态环境的恶化和资源的耗竭,但这仍然远远不够。因为尽管尽力减少资源的损耗,还是要损耗,资源不是无限的,总有耗尽的一天;尽管尽力减少废弃物的排放,污染是有所控制,但毕竟还是要排放,还是要污染,还不能从根本上解决问题,只是延缓而已,所以只能算是中策。上策应该是全面地改变我们的发展观、消费观,改变人类的生产模式和生活模式,积极争取做

到资源的循环利用,废弃物的零排放,环境的无污染,实现人与环境高度和谐,这才是可持续发展。环境工程教学内容应该与之相适应,环境工程应该扩展定义为“旨在提高资源的利用效率,减少污染物的排放,有利于促进人与环境的和谐关系的工程”。

(4)要加强科学与人文思想教育

大学一词,英文为 university,其词根来源于 universe,意为宇宙的、全部的、整体的,等等。大学萌发于 13～14 世纪,例如巴黎大学和牛津大学等,文艺复兴时期得到大的推动和发展,欧洲的大学慢慢地发展了起来。其特征是强调文学、历史、哲学等人文学科与数学、物理、化学和天文、地学还有生物等自然科学门类,以及医科和农科。此后随着工业的产生又逐渐地增加了工科和商科等。工科、农科、医科和商科等应用学科在 20 世纪得到了迅猛发展,但其根基是立在人文与自然科学的基础之上。

1952 年我国学习前苏联,将工、农、医等系科从综合性大学分离出来成立单科性学院。即便在当时也是承认大学的特征和必要条件是具备文史哲和数理化天地生等学科,所以院系调整后只有 14 所文理科综合性大学仍称大学。当然也有较为特殊的,如清华大学和浙江大学以及天津大学等可能由于太著名了,故虽然是工科单科学校但仍然称大学。经过近 50 年的实践证实这是一个很大的失误,因为割裂了文理科综合性大学和工农医等单科性大学这两大类学校之间的联系,使得各单科性大学脱离了他们的根基。事实上各单科学校都已或多或少地发现这个问题,因此大都自发地自行建立一些文理科的教研室甚至是系,到了 20 世纪 80 年代加快速度,不少学校又重新确定建设综合性大学的发展方向。而近年来的大学合并则更是将其推向高潮。

我们认为如果没有很好的人文和自然科学的训练,培养出来的工程技术人员的素质将是有缺陷的,他们的眼界,他们的思维方式将是有局限的。他们可能只能成为匠,而难以成为大师。唐朝的禅宗高僧们认为,一般人看山是山,经过教育训练提高后再看山就不是山,因为他的视野、境界、情趣和思维变了,但这还不够,经过禅宗悟道后再看山,山又是山了,只不过是更高层次的具有更多丰富内涵的山了,而且这个山是有着与整个世界各种各样联系的山。

实际上工程技术界的一些大师们就是非常好的例证,比如说杨廷宝、梁思成、贝聿明等建筑大师在建筑学上取得这么高的成就,留下那么多的经典杰作,他们无一不是学贯中西、文理兼修。

我们希望我们培养出来的学生将不仅仅就事论事地对待一项工程、研究开发一项技术,而是要具有大师的眼光,看到人所未见的东西。能够把一个工程或一项技术放到更加广阔的背景上去看,能够从哲学、美学甚至历史的角度看问题。

这样做对于一些学校来说可能会有师资短缺问题,另外一个问题则是几乎所有学校都面临的,那就是学时不够分配。师资不够可以有各种方法,包括培养、引

进,还有校际合作、互相开放选修课程等。课时安排不过来的问题解决起来比较难,因为总课时有限,课程计划上的多数课是不能减的,又不宜加太多的课,舆论也呼吁多留一点时间给学生,让学生有一定的自由度去丰富自己、发展自己。但是我们应该辨证地看问题,我们认为这最后一点恰好可以与我们的设想一致起来。

(5)面向21世纪的环境工程教学应该是可升级的

我们今天对环境工程教学改革的思考与构想是基于我们所面对的今天的现实和今天的思维,但事物总是发展变化的,人类在变,环境在变,唯一不变的应该是环境工程的最高目标和准则,那就是促进人与环境的和谐关系。这就如同下棋,不变的最高目标和准则是追求获胜,将死敌方的帅,但是棋要一步一步地走。高明的棋手每走一步,下面都考虑了好几步,但敌手每应对一步,他都要对原先考虑好的计划进行相应的修正。

环境工程教学的内容、体系、指导思想和方法毫无疑问也应该因时而变,因势而变,因变而变,就像信息科学中的软件,应该是"可升级的"。拿教学方法来说,目前还主要以课堂教学为主,但现在已经有不少学校在搞多媒体教学和网络教学,可以预见课堂教学的分量将逐渐有所减少,而多媒体和网络将有所增加。我们设想再过一些时候,虚拟现实技术也可引进作为环境工程教学的一种很有特色和竞争力的方法和手段。虚拟现实技术在逼真表现工程或技术实施过程方面、在表现各种设施和机械装置及其工作过程方面、在表现一些细节和局部的内容方面具有极大的优势。

我们认为,升级时间间隔 Δt 不宜太大,以免跟不上形势的变化;升级时间间隔 Δt 也不宜太小,以免失去相对稳定和连续性。

(6)关于本书的编写与分工

本书共包含18章,由郑正任主编。各章具体编写分工为:第一章、第五章、第七章、第十二章、第十七章由郑正编写;第二章、第十八章由钱瑜编写;第三章、第四章、第八章、第十三章由许昭怡编写;第六章、第十四章、第十五章由韩永忠编写;第九章、第十章由赵玉明编写;第十一章由陈建林编写;第十六章由罗兴章编写。高松亭高级工程师负责绘制大部分插图。

我们力图将上面所述的想法贯彻到这本书的编写中,这是我们一个认真的尝试,但由于水平所限,恐怕做得不很理想。我们将继续努力,以求进一步提高。我们也十分乐意听取各位老师和同学在使用本书过程中所形成的意见、看法、批评和建议,以便再版时修订。

第二章　环境立法和法规

第一节　环境法的基本概念
(Concept of Environmental Laws)

2.1.1　环境法的定义(Definition of Environmental Laws)

环境法是国家为了协调人类与环境的关系,保护和改善环境,以保护人民健康和保障经济社会的持续、稳定发展而制定的,它是调整人们在开发利用、保护和改善环境的活动中所产生的各种社会关系的法律规范的总和。这个定义的主要含义如下:

①环境法是一部分法律规范的总称,是以国家意志出现的、以国家强制力保证其实施的、规定环境法律关系主体的权利和义务为任务的。

②环境法所要调整的是人们在开发利用、保护改善环境有关的那部分社会关系,凡不属此类的社会关系,均不是环境保护法调整的对象。

③环境法的产生是由于人类与环境之间的关系不协调,从而影响乃至威胁着人类的生存与发展。

环境法所要保护和改善的是作为一个整体的环境,而不仅是一个或数个环境要素,更不是某种特定的自然资源。

2.1.2　环境法的目的任务(Objective of Environmental Laws)

每一种法律的制定和实施都是为了达到一定的目的。立法的目的性,决定法律调整的对象,以及采用何种政策措施和制度。研究法律的目的性,有助于正确理解和执行法律。

《中华人民共和国环境保护法》第一条规定:"为保护和改善生活环境与生态环境,防治污染和其他公害,保障人体健康,促进社会主义现代化建设的发展,制定本法。"这一条就明确规定了环保法的目的和任务,它包括两个内容:一是直接目的,或称直接目标,是协调人类与环境之间的关系,保护和改善生活环境和生态环境,防止污染和其他公害;二是最终目的,即保护人民健康和保障经济社会持续发展,该点是立法的出发点和归宿。

2.1.3　环境法的作用(Function of Environmental Laws)

1. 环境法是保证环境保护工作顺利开展的法律武器

历史经验证明,进行社会主义现代化建设,必须同时搞好环境建设,这是一条不以人们意志为转移的客观规律。谁违反了这一规律,谁就会受到严厉的惩罚。因此,在发展经济的同时必须兼顾环境保护。但是,并非所有的人都认识和承认这个道理,知道此道理的人也并非全能照此办理,这就需要在采取科学技术、行政、经济等措施的同时,采取强有力的法律手段,把环境保护纳入法治的轨道。1979 年国家颁布了《中华人民共和国环境保护法(试行)》,1989 年又颁布了《中华人民共和国环境保护法》。它的颁布施行,使环境保护工作制度化、法律化,使国家机关、企业、事业单位、各级环境保护机构和公民个人,都明确了各自在环境保护方面的职责、权利和义务。对保护环境有显著成绩和贡献的,依法给予表扬和奖励;对污染和破坏环境、危害人民健康的,则依法分别追究行政责任、民事责任,情节严重的还要追究刑事责任。有了环境保护法,在环境保护工作中就有法可依,有章可循。只要大家认真执行环境保护法,就一定能促进环境保护工作的顺利开展,使环境问题得到切实的解决,达到保护和改善生活环境与生态环境,防治污染和其他公害,保障人体健康,促进社会主义现代化建设的发展这一根本目的。

2. 环境法是推动环境保护领域中法制建设的动力

《中华人民共和国环境保护法(试行)》及《中华人民共和国环境保护法》的颁布实施,不但使我国的环境管理有了很大的发展,而且是推动我国环境保护领域中法制建设的强大动力。

《环境保护法》是我国环境保护的基本法,它明确规定了我国环境保护的任务、方针、政策、基本原则、制度、工作范围和机构设置、法律责任等问题。这些都是我国环境保护工作中带根本性的问题,为制定各种环境保护单行法规及地方环境保护条例等提供了直接的法律依据,促进了我国环境保护的法制建设。许多环境保护单行法律、条例、政令、标准等都是依据环境保护法的有关条文制定的。如根据环境保护法,我们先后制定并颁布了《中华人民共和国大气污染防治法》、《中华人民共和国水污染防治法》、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《中华人民共和国环境噪声污染防治法》、《中华人民共和国海洋环境保护法》等法律,以及《中华人民共和国水污染防治法实施细则》、《中华人民共和国大气污染防治法实施细则》、《建设项目环境保护管理条例》、《化学危险品安全管理条例》、《放射性同位素与射线装置放射防护条例》等行政法规性文件。此外,各省、自治区、直辖市也根据环境保护法制定了许多地方性的环境保护条例、规定、办法等。可见,环境保护法的颁布施行,起着推动我国环境保护领域中法制建设的重大作用。经过十几年的

努力,我国已基本形成比较完整的环境保护法体系。

3. 环境法增强了广大干部和群众的法制观念

环境保护法的颁布实施,从法律高度向全国人民提出了要求,所有的企事业单位、人民团体和每个公民,都要加强法制观念,大力宣传环境保护法,严格执行环境保护法。首先是各级领导要提高认识,重视环境保护,摆正发展生产与保护环境之间的关系,统筹兼顾,协调前进。决不能一面生产,为人民造福;一面污染破坏环境,贻害人民。其次要带头执法,做到"有法必依,执法必严"。对违反环境保护法,污染和破坏环境的行为,要依法办事。不管是谁,谁违反了环境保护法,就要坚决依法追究法律责任,以维护社会主义法制的严肃性。广大群众应该努力学习环境保护知识和环境保护法知识,自觉履行保护环境的义务,并积极参加监督各企业、事业单位的环境保护工作,自觉地向违反环境保护法、破坏和污染环境的行为作斗争。广泛宣传环境保护及环境保护法律知识,做到家喻户晓、人人皆知,造成"保护环境,人人有责"的社会新风尚。保护环境不只是环保部门的事,而是大家的事。只要大家积极行动起来,增强法制观念,以法律为武器,我国的环境保护工作就定会取得很大成绩,我们的环境保护与经济建设就会得到协调发展。

4. 环境法是维护我国环境权益的重要工具

环境是一个内容非常丰富的概念,宏观来讲,环境是没有国界之分的。某一个人的行为既可造成本国的环境污染和破坏,也可造成他国的环境污染和破坏。特别是对一些领域面积小的国家,这个问题就显得特别突出。例如,造成环境污染的污染源种类繁多、分布很广,污染物种类不一,有些污染源的污染物在环境中可以扩散到超越国界的范围。又如,有些严重影响作物生长的病虫、严重影响人体健康的疾病,可以通过人员往来、物资交流等方式,由一国传播到另一国。这样对环境的污染和破坏这一现象就有可能由发生国影响到他国。这就涉及到国家之间环境权益的维护和环境保护的协作问题。

依据我国所颁布的一系列环境保护法律、法规,就可以保护我国的环境权益,依法使我国领域内的环境不受来自他国的污染和破坏,这不仅维护了我国的环境权益,也维护了全球环境。例如《中华人民共和国环境保护法》第四十六条规定:"中华人民共和国缔结或者参加的与环境保护有关的国际条约,同中华人民共和国的法律有不同规定的,适用国际条约的规定,但中华人民共和国声明保留的条款除外"。《中华人民共和国海洋环境保护法》第二条第三款规定:"在中华人民共和国管辖海域以外,排放有害物质,倾倒废弃物,造成中华人民共和国管辖海域污染损害的,也适用本法。"《农药登记规定》第七条规定:"外国厂商向我国销售农药必须进行登记,未经批准登记的商品不准进口。"《中华人民共和国食品卫生法(试行)》

第二十八条规定:“进口的食品、食品添加剂、食品容器、包装材料和食品用工具及设备,必须符合国家卫生标准和卫生管理办法的规定。”通过以上列举的一些法律和法规,我们就可依法对源于境外的,对我国境内环境造成污染和破坏的行为进行处置。这一方面维护了我国的环境权益不受侵犯,同时也维护了全球环境不受污染和破坏。

2.1.4　环境法的特点(Trait of Environmental Laws)

我国的环境法是代表广大人民群众根本利益的,是建设社会主义的重要工具。鉴于环境法的任务和内容与其他法律有所不同,环境保护法有其自己的特点。

(1)科学性

因为环境保护法将自然界的客观规律,特别是生态学的一些基本规律及环境要素的演变规律作为自己的立法基础,因而环境保护法中包含大量的反映这些客观规律的科学技术性规范。对这些客观规律不能随意地主观加以解释,这就决定了学习、执行环境保护法必须首先学习这些客观规律,这是环境保护法的第一个特点。

(2)综合性

由于环境包括围绕在人群周围的一切自然要素和社会要素,所以保护环境涉及到整个自然环境和社会环境,涉及到全社会的各个领域以及社会生活的各个方面。而环境保护法所要保护的是由各种要素组成的统一的整体,因而,必须有一个将环境作为一个整体来加以保护的综合性法律。又由于环境质量的改善有待于各个环境要素质量的改善,因而,环境保护法又必须有一系列为保护某一个环境要素而制定的法律。此外,环境保护法具有复杂的立法基础以及保护、改善环境的需要而不得不采用多种管理手段和法律措施。因此,环境保护法必然是一个十分庞杂但又综合的体系。

(3)共同性

环境问题是世界各国人民所面临的一个共同的问题。它产生的原因,不论任何国家都大同小异。因而,解决环境问题的理论根据、途径和办法也有不少相似之处。因此,世界各国环境保护法有共同的立法基础、共同的目的,从而也就决定了有许多共同的规定。这一切使得一些国家在解决环境问题时所采用的对策、措施、手段等可为另一些国家所吸收、参考、借鉴和采用。这些共同性的存在也使得世界各国在解决本国和全球环境问题时有许多共同的语言。

第二节 我国环境保护法体系
(Environmental Laws System in China)

环境法在世界各国的立法体系中是一个新兴的法律,它是国家整个法律体系的重要组成部分,其自身又具有一套比较完整的体系。环境保护法体系是指为调整因保护和改善环境、防治污染和其他公害而产生的各种法律规范,以及由此所形成的有机联系的统一整体。我国现已基本形成了一套完整的法律体系,它的构成如下。

(1)宪法

宪法是我国的根本大法。它是我国环境保护法的立法依据,是我国环境保护法体系的基石。在宪法中有一系列关于环境保护的规定,如第二十六条规定:“国家保护和改善生活环境和生态环境,防治污染和其他公害”;第九条第二款规定:“国家保障自然资源的合理利用,保护珍贵的动物和植物,禁止任何组织或者个人用任何手段侵占或者破坏自然资源”;第十条第五款规定:“一切使用土地的组织和个人必须合理利用土地。”等等。宪法确认了环境保护是国家的基本政策,是国家的基本职责,并为环境保护法提供了立法根据、指导思想和基本原则。

(2)综合性的环境保护基本法

环境保护基本法是我国环境保护法的主干。它依据宪法的规定,确定环境保护在国家生活中的地位,规定国家在环境保护方面总的方针、政策、原则、制度,规定环境保护的对象,确定环境管理的机构、组织、权力、职责,以及违法者应承担的法律责任。1979 年 9 月 13 日第五届全国人大常委会第十一次会议通过了我国第一部综合性环境保护法律《中华人民共和国环境保护法(试行)》,1989 年 12 月 26 日第七届人大常委会第十一次会议通过了《中华人民共和国环境保护法》,同时废止了《中华人民共和国环境保护法(试行)》。该法的具体内容见附录。

(3)环境保护单项法

单项的环境保护法规是我国环境保护法的支干。是以宪法和环境保护法为基础,为保护某一个或几个环境要素或为了调整某方面社会关系而制定,是宪法及环境保护基本法的具体化。目前国家共颁布了 7 部环境保护法律、10 多部资源法律和 30 多项环境保护行政法规和法规性文件,发布了 90 多项环境保护规章及规范性文件,使环境法律体系更趋完善。

七项环境保护单项法是《大气污染防治法》、《水污染防治法》、《固体废物污染环境防治法》、《海洋环境保护法》、《防止噪声污染防治法》、《清洁生产促进法》和《环境影响评价法》。资源保护法包括《森林法》、《草原法》、《煤炭法》、《矿产资源法》、《渔业法》、《水法》、《土地管理法》、《野生动物保护法》和《水土保持法》等。环

境保护条例有《自然保护区条例》、《放射性同位素与射线装置放射防护条例》、《化学危险品安全管理条例》、《淮河流域水污染防治暂行条例》、《海洋石油勘探开发环境保护管理条例》、《海洋倾废管理条例》、《陆生野生动物保护实施条例》、《风景名胜区管理暂行条例》、《基本农田保护条例》、《城市绿化条例》等。

(4)环境标准

环境标准在环境保护法体系中占有重要地位,它是环境保护法实施的工具和依据。没有环境标准,环境保护法就难以实施。通过多年来的努力,我国目前已建成较为完善的环境标准体系。共颁布国家环境标准 364 项,其中国家污染物排放标准 84 项条,国家环境质量标准 10 项,方法标准 299 项。各地方也根据管理的需要,颁布了地方性的环境标准,构成了以国家标准为主体,地方和国家环境保护总局标准为辅的环境标准体系。

(5)处理环境纠纷程序的法规

环境纠纷处理法规是为及时、公正地解决因环境问题引起的纠纷而制定的,它包括关于环境破坏、环境污染赔偿法律及环境犯罪惩治法律等。如“环境保护行政处罚办法”,“报告环境污染事故的暂行办法”等。

(6)其他相关法律

在我国民法、刑法、经济法、劳动法、行政法等相关法中含有大量有关保护环境的法律规定,它们也是环境保护法体系的重要组成部分。如《民法通则》第一百二十四条规定:“违反国家保护环境防止污染的规定,污染环境造成他人损害的,应当依法承担民事责任”。又如 1997 年 10 月 1 日起施行的修订后的《刑法》增加了“破坏环境资源保护罪”一节,该节共九条,分别对危险废物管理、森林破坏、水生生物保护、濒危物种保护、名胜古迹保护、惩治玩忽职守、防止重大责任事故等方面都做了刑事处罚规定。

(7)地方环境保护法规

地方环境保护法规是指有立法权的地方权力机关——人民代表大会及其常委会和地方政府制定的环境保护规范性文件,是对国家环境保护法律、法规的补充和完善,是以解决本地区某一特定的环境问题为目标的,具有较强的针对性和可操作性。目前全国大多数省、直辖市、自治区根据《宪法》和《环境保护法》陆续颁布了大量的环境保护法规,其中有综合性的在辖区范围内适用的环境保护条例,也有专管该地区某一方面环境要素或污染源的单行法规,还有各种地方性的环境质量补充标准和污染物排放标准以及跨越数省的环境保护条例。

(8)我国参加的国际条约

凡是我国已参加的国际环境保护公约及与外国缔结的关于环境保护的双边、多边条约,都是我国环境保护法体系的有机组成部分。至今我国已缔结或参加了 30 多个环境保护方面的国际条约,主要有“保护臭氧层维也纳公约”、“保护世界文

化和自然遗产公约”、“濒危野生动植物物种国际贸易公约”、“关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书”、“控制危险废物越境转移及其处置的巴塞尔公约”、“气候变化框架公约”、“生物多样性公约”、“大陆架公约”、“中日保护候鸟及其栖息地环境协定”、“中美环境保护科学技术合作议定书”等。

第三节 我国的环境法律制度概要
(Overview of Environmental Laws in China)

2.3.1 环境污染防治法律制度(Environmental Laws for Pollution Control)

1. 大气污染防治立法的基本内容

我国的大气污染防治立法主要有《大气污染防治法》(2000 年 4 月 29 日由第九届全国人民代表大会常务委员会第十五次会议通过,并于 2000 年 9 月 1 日正式施行)及其实施细则、《城市烟尘控制区管理办法》、《关于发展民用型煤的暂行办法》、《汽车排气污染监督管理办法》等。其基本内容可以概括如下:

①关于国务院和地方各级人民政府防治大气污染职责的规定。

②关于大气污染防治监督管理体制的规定。

③关于排污单位的责任和公民权利义务的规定。

④关于大气环境保护标准制定机关及其权限的规定。

⑤关于通过合理的规划和布局防治大气污染的规定。

⑥关于对严重污染大气环境的落后生产工艺和落后生产设备实行淘汰制度的规定。

⑦关于大气污染防治监督管理制度的规定。

⑧关于防治烟尘污染的规定。

⑨关于防治废气、粉尘和恶臭污染的规定。

⑩关于违反大气污染防治法律法规的法律责任的规定,包括行政责任、民事责任和刑事责任。

2. 水污染防治立法的基本内容

我国的水污染防治立法主要有《水污染防治法》(1996 年 5 月 15 日由第八届全国人民代表大会常务委员会第十九次会议修订)及其实施细则(2000 年 3 月 20 日由国务院第 284 号令发布)、《淮河流域水污染防治暂行条例》(1995 年 8 月 8 日国务院第 183 号令)、《水污染物排放许可证管理暂行办法》、《污水处理设施环境保护监督管理办法》、《饮用水源保护区污染防治管理规定》等。其基本内容可以概括为以下几个方面:

①关于水污染防治原则的规定。包括水污染防治与水资源开发利用相结合原

则、水污染防治与企业的整顿和技术改造相结合原则、严格保护生活饮用水原则等。

②关于国务院有关部门和地方各级人民政府水污染防治职责的规定。

③关于水污染防治监督管理体制的规定。

④关于水污染防治监督管理制度的规定。

⑤关于综合性水污染防治措施的规定。

⑥关于防止地表水污染的规定。

⑦关于防止地下水污染的规定。

⑧关于防止内河船舶和造船、拆船作业污染水环境的规定。

⑨关于法律责任的规定。

3. 噪声污染防治立法的基本内容

我国的噪声污染防治立法主要有《环境噪声污染防治法》(1996 年 10 月 29 日由第八届全国人民代表大会常务委员会第二十二次会议通过,1997 年 3 月 1 日起施行)。其基本内容概括如下:

①关于噪声污染监督管理体制的规定。

②关于环境噪声标准的规定。

③关于防治噪声污染的综合性制度和措施的规定。

④关于工业噪声污染防治措施的规定。

⑤关于建筑施工噪声污染防治措施的规定。

⑥关于交通运输噪声污染防治措施的规定。

⑦关于社会生活噪声污染防治措施的规定。

⑧关于法律责任的规定。

4. 固体废物污染防治立法的基本内容

我国的固体废物污染防治立法主要是《固体废物污染环境防治法》(1995 年 10 月 30 日由第八届全国人民代表大会常务委员会第十六次会议通过,1996 年 4 月 1 日起施行)。该法的基本内容是:

①关于固体废物污染防治原则的规定。包括固体废物的减量化、资源化和无害化原则、全程控制原则、分类管理原则等。

②关于固体废物污染防治监督管理体制的规定。

③关于固体废物污染防治监督管理制度的规定。

④关于固体废物污染防治措施的规定。

⑤关于法律责任的规定。

5. 有毒有害物质污染控制立法的基本内容

环境立法中的有毒有害物质主要指化学品、农药和放射性物质。我国目前尚无综合性的化学品污染控制法,也没有单行的农药控制法和放射性污染控制法,但有一些相关的行政法规的行政规章。例如,《化学危险物品安全管理条例》、《监控化学品管理条例》、《农药登记规定》、《民用核设施安全监督管理条例》、《放射性同位素与射线装置放射防护条例》、《核电厂核事故应急管理条例》、《城市放射性废物管理办法》、《放射环境管理办法》等。这在一定程度上为控制有毒有害物质的污染提供了法律依据。

综合来看,化学品污染控制立法的基本内容是:

①关于对化学危险品的生产、使用、储存、经营、运输、装卸等实行严格管理的规定。

②关于对监控化学品实行特殊管理的规定。

③关于对铬、镉、汞、砷、铅等严重污染环境的化学物质采取严格的污染防治措施的规定。

④关于对化学品的进出口实行严格管理的规定等。

农药污染控制立法的基本内容是:

①关于农药登记制度的规定。

②关于购买、运输和保管农药的规定。

③关于农药使用范围的规定。

④关于安全使用农药的规定。

放射性污染控制立法的基本内容是:

①关于放射性同位素与射线装置放射防护的规定。

②关于民事核设施安全监督管理的规定。

③关于防治医疗放射性污染的规定。

④关于放射性废物管理的规定。

6. 海洋污染防治立法的基本内容

我国的海洋污染防治立法主要有《海洋环境保护法》、《防止船舶污染海域管理条例》、《海洋石油勘探开发环境保护管理条例》、《海洋倾废管理条例》、《防治陆源污染物污染损害海洋环境管理条例》、《防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》等。其基本内容是:

①关于海洋环境保护管理体制的规定。

②关于防止海岸工程建设项目对海洋环境污染损害的规定。

③关于防止海洋石油勘探开发污染损害海洋环境的规定。

④关于防治陆源污染物污染损害海洋环境的规定。
⑤关于防止船舶污染海洋环境的规定。
⑥关于防止拆船污染海洋环境的规定。
⑦关于防止倾废污染海洋环境的规定。
⑧关于法律责任的规定。

2.3.2　自然资源保护法律制度(Laws for Natural Resources Protection)

1. 土地资源保护立法的基本内容

我国的土地资源保护立法主要有《土地管理法》及其实施条例、《土地复垦规定》、《基本农田保护条例》、《外商投资开发经营成片土地管理办法》、《水土保持法》及其实施条例等。其基本内容是:

①关于全面规划与合理利用土地的规定。
②关于进行土地复垦、恢复土地功能的规定。
③关于严格用地审批程序、避免乱占和浪费土地的规定。
④关于建立基本农田保护区、严格控制占用耕地的规定。
⑤关于防止土壤污染的规定。
⑥关于防止水土流失、土壤沙化、盐渍化、潜育化等土地破坏的规定。
⑦关于法律责任的规定。

2. 矿产资源保护立法的基本内容

我国的矿产资源保护立法主要有《矿产资源法》及其实施细则、《石油及天然气勘查、开采登记管理暂行办法》、《矿产资源补偿费征收管理规定》以及《煤炭法》、《煤炭生产许可证管理办法》、《乡镇煤矿管理条例》等。其基本内容是:

①关于矿产资源所有权、探矿权和开采权的规定。
②关于矿产资源保护监督管理体制的规定。
③关于矿产资源保护监督管理制度的规定。
④关于矿产资源保护措施的规定。
⑤关于集体和个体采矿的规定。
⑥关于开采矿产资源活动中保护环境的规定。
⑦关于法律责任的规定。

3. 水资源保护立法的基本内容

我国的水资源保护立法主要有《水法》、《取水许可制度实施方法》、《城市供水条例》、《河道管理规定》等。其基本内容是:

①关于水资源所有权和使用权的规定。

②关于水资源开发利用原则的规定。

③关于水资源监督管理体制的规定。

④关于水资源监督管理制度的规定。

⑤关于法律责任的规定。

4. 森林资源保护立法的基本内容

我国的森林资源保护立法主要有《森林法》及其实施细则、《第五届全国人民代表大会第四次会议关于开展全民义务植树活动的决议》、《国务院关于开展全民义务植树活动的实施办法》、《森林和野生动物类型自然保护区管理办法》、《森林防火条例》、《城市绿化条例》、《森林病虫害防治条例》、《森林采伐更新管理办法》等。其基本内容是:

①关于森林所有权的规定。

②关于林业建设实行"以营林为基础,普遍护林,大力造林,采育结合,永续利用的方针"的规定。

③关于全面规划、合理布置林地的规定。

④关于森林种类的规定。

⑤关于植树造林和绿化的规定。

⑥关于森林保护管理机构的规定。

⑦关于控制森林采伐量和采伐更新的规定。

⑧关于占用、征用林地的规定。

⑨关于森林保护措施的规定。包括建立林业基金制度、封山育林制度、群众护林制度、森林防火制度、森林病虫害防治制度、采伐许可证制度、划定自然保护区制度等。

⑩关于法律责任的规定。

5. 草原资源保护立法的基本内容

我国的草原资源保护立法主要有《草原法》、《草原防火条例》等。其基本内容是:

①关于草原所有权和使用权的规定。

②关于合理利用草原,保护草原植被,防止草原因过牧、滥垦、滥砍、滥捕野生动物、采矿、火灾、鼠害、虫害、污染等而被破坏的规定。

③关于草原保护监督管理体制的规定。

④关于草原所有权或使用权纠纷处理办法的规定。

⑤关于法律责任的规定。

6. 渔业资源保护立法的基本内容

我国的渔业资源保护方法主要有《渔业法》及其实施细则、《水产资源繁殖保护条例》、《水生野生动物保护实施条例》等。其基本内容是:

①关于渔业生产实行"以养殖为主,养殖、捕捞、加工并举侧重的方针"的规定。

②关于发展养殖业的规定。

③关于规范捕捞业的规定。

④关于渔业资源增殖和保护的规定。

⑤关于渔业资源保护管理体制的规定。

⑥关于法律责任的规定。

2.3.3　自然保护法律制度(Laws for Nature Protection)

1. 生物多样性保护立法的基本内容

我国的生物多样性保护立法主要有《野生动物保护法》、《陆生野生动物保护实施条例》、《水生野生动物保护实施条例》、《水产资源繁殖保护条例》、《野生植物保护条例》、《野生药材资源保护管理条例》、《进出境动植物检疫法》、《植物检疫条例》等。

其中野生动物保护立法的基本内容是:

①关于野生动物资源属于国家所有的规定。

②关于保护野生动物生境的规定。

③关于野生动物保护的监督管理体制的规定。

④关于单位、个人保护野生动物的权利、义务的规定。

⑤关于对珍贵、濒危野生动物实行重点保护的规定。

⑥关于控制对野生动物猎捕的规定。

⑦关于鼓励驯养野生动物的规定。

⑧关于对野生动物及此制品的经营利用和进出口活动实行严格管理的规定。

⑨关于法律责任的规定。

野生植物保护立法的基本内容是:

①关于野生植物保护基本方针和综合性措施的规定。

②关于野生植物保护的监督管理体制的规定。

③关于野生植物保护的监督管理制度的规定。

④关于通过建立自然保护区、控制野生植物的经营利用等措施保护野生植物生境的规定。

⑤关于法律责任的规定。

动植物检疫立法的基本内容是:

①关于动植物检疫管理体制的规定。

②关于动植物检疫范围的规定。

③关于检疫对象和划定疫区的规定。

④关于防止检疫对象传入措施的规定。

⑤关于对检疫不合格动植物处理办法的规定。

⑥关于法律责任的规定。

2. 水土保持和荒漠化防治立法的基本内容

我国的水土保持和荒漠化防治立法主要有《水土保持法》及其实施条例。此外,《环境保护法》、《土地管理法》、《水法》、《农业法》、《森林法》以及《草原法》等也对水土保持和荒漠化防治作了相应规定。综合来看,其基本内容有:

①关于水土保持工作实行"预防为主,全面规划,综合防治,因地制宜,加强管理,注重效益的方针"的规定。

②关于水土保持管理制度的规定。

③关于开展和鼓励有利于水土保持的活动的规定。

④关于禁止可能造成水土流失和荒漠化的某些活动的规定。

⑤关于修改铁路、公路、水利工程,开办大中型企业以及从事林业活动等可能造成水土流失的活动者采取水土保持措施的规定。

⑥关于法律责任的规定。

3. 自然保护区立法的基本内容

我国的自然保护区立法主要有《自然保护区条例》、《森林和野生动物类型自然保护区管理办法》、《自然保护区土地管理办法》等。其基本内容是:

①关于自然保护区管理体制的规定。

②关于自然保护区分级的规定。

③关于建立自然保护区的条件和程序的规定。

④关于自然保护区分区(包括核心区和实验区)的规定。

⑤关于自然保护区管理措施及其开发利用的规定。

⑥关于法律责任的规定。

4. 风景名胜区和文化遗迹地保护立法的基本内容

我国的风景名胜区和文化遗迹地保护立法主要有《文物保护法》及其实施细则、《风景名胜区管理暂行条例》及其实施办法、《地质遗迹保护管理规定》等。《环境保护法》、《城市规划法》、《矿产资源法》等法律也对风景名胜区和文化遗迹地的保护作了相应规定。综合观之,其基本内容是:

①关于制定规划、全面保护的规定。

②关于划分风景名胜区和文物保护单位的级别、确定历史文化名城并对其实行重点保护的规定。

③关于风景名胜区管理机构、管理体制的规定。

④关于禁止侵占风景名胜区的土地和从事破坏环境景观的建设活动的规定。

⑤关于采取划定建设控制地带、限制文化遗迹地内工程建设、控制文化遗址的迁移、拆除、改作他用等措施保护文化遗迹地的规定。

⑥关于法律责任的规定。

第四节　我国环境立法面临的挑战及其发展趋势
(Challenges and Trends in Environmental Legislation of China)

我国现行环境立法规定对企事业单位等实施污染物“浓度控制”和超标排污收费制度(《水污染防治法》则规定了排污收费、超标排污征收超标排污费制度),国务院还颁布了《征收排污费暂行办法》,全国范围内对排放废水、废气、废渣、噪声、放射性等污染物的企业实行收费,试图以此给排污者施加一定的经济压力,使其防治污染。但由于企业利益约束机制不健全、费率偏低等原因,实践中难以产生强大的刺激作用。此外,制定和执行污染物排放标准(包括国家综合排放标准、行业排放标准和地方排放标准)都是以污染物的“末端处理”技术和费用为主要依据,以调控污染源的“末端处理”行为为主要目标,这种“末端处理”、达标排放的政策构成了我国污染防治的主体并贯穿于其他各项环境管理制度之中。相对于“浓度控制”而言,“总量控制”是一个巨大进步,但仍未跳出污染物“末端处理”的圈子。

环境问题的实质在于对环境资源的不合理利用,其中的环境污染实际上是对资源和能源的浪费。因为在现代物质生产的过程中,作为生产投入要素的能源、资源不是转化为最终产品,就是转化为废物排入环境。据统计,国民经济周转中,社会所需最终产品仅占原料用量的 20 %～30 %,其余 70 %～80 % 则成为进入环境的废物。由于生产中的工艺技术、设备及管理水平是产品与废物替代发生的关节点,因此,环境问题的防治在很大程度上取决于人们对生产技术的掌握和控制,对污染物“末端”控制技术的掌握只是其中一个方面。这就是加强环境科技,变污染物“末端处理”为全程控制、源头削减、推行清洁生产、发展清洁能源的经济机理之所在,也是预防性环境政策的重要依据,同时已为西方发达国家的环境保护实践所证实。

近年来,我国已经提出要“转变传统发展模式,积极推行清洁生产,走可持续发展道路”,表明环保战略由注重污染物“末端处理”转向注重污染预防。而两个根本转变,即从计划经济向市场经济的转变以及从以高投入、低产出、重污染、低效益为特征的粗放型生产经营方式向以采用先进工艺技术、实行清洁生产、节能降耗为特

征的集约型、质量效益型发展方式的转变 ,则为我国环境保护预防性战略的实现提供了根本性的政治、经济机遇。

环保战略和政策的实施依赖于管理制度、法律法规的保障,依赖于经济刺激措施的推动和环境宣传、教育、合作、交流等措施的配合,因此,以污染物“ 末端处理 ”为其核心内容的现行环境立法面临着如何落实预防性原则、推进清洁生产、发展清洁能源、实施可持续发展战略的巨大挑战。

目前,鉴于环境污染与生态破坏日趋严重的现状和发展前景,鉴于社会主义市场经济以及可持续发展的要求,我国环境立法在吸收借鉴发达国家的经验教训的基础上,已经开始由注重污染物的“ 末端处理 ”转向注重污染预防。主要表现为通过修订现有的环境立法和制定《清洁生产促进法》、《环境影响评价法》等新的环境法律,对某些区域和某些种类的污染物实行“ 总量控制 ”,强化环境行政管制和技术强制的力度,强化环境经济手段的运用,并注重环境宣传教育以及合作交流等。

具体言之,我国今后环境立法的基本发展趋势为:

①进一步确立或完善中外环境法律实践业已证明是行之有效的各项基本法律原则,包括可持续发展原则,污染预防原则,污染者负担原则,污染物综合控制原则,公众参与原则以及环境与经济综合决策原则等。

②将可持续发展原则纳入立法,建立环境与经济综合决策的机制,完善环境资源单行法律法规,加强与国际环境条约、标准相配套的国内环境立法。

③以污染物的源头削减、全程控制、综合控制为基本目标,建立和完善污染物“ 总量控制 ”、许可证、排污收费、环境影响评价、环境审计等环境法律制度,使之更加完备、透明、公正。特别是新制定的《清洁生产促进法》和《环境影响评价法》两部法律,均是力求在“ 源头 ”上防治环境污染,确立清洁审计、环境管理体系审核、环境标准、对环境可能产生重大影响的政策和国民经济规划与计划方案的环境影响评价、区域开发环境影响评价等新的重要法律制度。

④加强环境行政管理与环境经济手段的综合运用,改革现有的排污收费制度,在条件成熟的时候建立环境税和排污权交易制度等。

参考文献

刘天齐.2000.环境保护.北京:化学工业出版社

戚道孟.2000.环境法.天津:南开大学出版社

钱易,唐孝炎.2000.环境保护与可持续发展.北京:高等教育出版社

附录

中华人民共和国环境保护法

（1989 年 12 月 26 日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过，
同日中华人民共和国主席令第二十二号公布，自同日起施行）

第一章　总　　则

第一条　为保护和改善生活环境与生态环境，防治污染和其他公害，保障人体健康，促进社会主义现代化建设的发展，制定本法。

第二条　本法所称环境，是指影响人类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体，包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等。

第三条　本法适用于中华人民共和国领域和中华人民共和国管辖的其他海域。

第四条　国家制定的环境保护规划必须纳入国民经济和社会发展计划，国家采取有利于环境保护的经济、技术政策和措施，使环境保护工作同经济建设和社会发展相协调。

第五条　国家鼓励环境保护科学教育事业的发展，加强环境保护科学技术的研究和开发，提高环境保护科学技术水平，普及环境保护的科学知识。

第六条　一切单位和个人都有保护环境的义务，并有权对污染和破坏环境的单位和个人进行检举和控告。

第七条　国务院环境保护行政主管部门，对全国环境保护工作实施统一监督管理。县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门，对本辖区的环境保护工作实施统一监督管理。国家海洋行政主管部门、港务监督、渔政渔港监督、军队环境保护部门和各级公安、交通、铁道、民航管理部门，依照有关法律的规定对环境污染防治实施监督管理。县级以上人民政府的土地、矿产、林业、农业、水利行政主管部门，依照有关法律的规定对资源的保护实施监督管理。

第八条　对保护和改善环境有显著成绩的单位和个人，由人民政府给予奖励。

第二章　环境监督管理

第九条　国务院环境保护行政主管部门制定国家环境质量标准。

省、自治区、直辖市人民政府对国家环境质量标准中未作规定的项目，可以制定地方环境质量标准，并报国务院环境保护行政主管部门备案。

第十条　国务院环境保护行政主管部门根据国家环境质量标准和国家经济、技术条件，制定国家污染物排放标准。

省、自治区、直辖市人民政府对国家污染物排放标准中未作规定的项目，可以制定地方污染物排放标准；对国家污染物排放标准中已作规定的项目，可以制定严于国家污染物排放标准的地方污染物排放标准。地方污染物排放标准须报国务院环境保护行政主管部门备案。

凡是向已有地方污染物排放标准的区域排放污染物的，应当执行地方污染物排放标准。

第十一条　国务院环境保护行政主管部门建立监测制度，制定监测规范，会同有关部门组织监测网络，加强对环境监测的管理。

国务院和省、自治区、直辖市人民政府的环境保护行政主管部门，应当定期发布环境状况公报。

第十二条　县级以上人民政府环境保护行政主管部门，应当会同有关部门对管辖范围内的环境状况进

行调查和评价,拟订环境保护规划,经计划部门综合平衡后,报同级人民政府批准实施。

第十三条　建设污染环境的项目,必须遵守国家有关建设项目环境保护管理的规定。

建设项目的环境影响报告书,必须对建设项目产生的污染和对环境的影响作出评价,规定防治措施,经项目主管部门预审并依照规定的程序报环境保护行政主管部门批准。环境影响报告书经批准后,计划部门方可批准建设项目设计任务书。

第十四条　县级以上人民政府环境保护行政主管部门或者其他依照法律规定行使环境监督管理权的部门,有权对管辖范围内的排污单位进行现场检查。被检查的单位应当如实反映情况,提供必要的资料。检查机关应当为被检查的单位保守技术秘密和业务秘密。

第十五条　跨行政区的环境污染和环境破坏的防治工作,由有关地方人民政府协商解决,或者由上级人民政府协调解决,作出决定。

第三章　保护和改善环境

第十六条　地方各级人民政府,应当对本辖区的环境质量负责,采取措施改善环境质量。

第十七条　各级人民政府对具有代表性的各种类型的自然生态系统区域,珍稀、濒危的野生动植物自然分布区域,重要的水源涵养区域,具有重大科学文化价值的地质构造、著名溶洞和化石分布区、冰川、火山、温泉等自然遗迹,以及人文遗迹、古树名木,应当采取措施加以保护,严禁破坏。

第十八条　在国务院、国务院有关主管部门和省、自治区、直辖市人民政府划定的风景名胜区、自然保护区和其他需要特别保护的区域内,不得建设污染环境的工业生产设施;建设其他设施,其污染物排放不得超过规定的排放标准。已经建成的设施,其污染物排放超过规定的排放标准的,限期治理。

第十九条　开发利用自然资源,必须采取措施保护生态环境。

第二十条　各级人民政府应当加强对农业环境的保护,防治土壤污染、土地沙化、盐渍化、贫瘠化、沼泽化、地面沉降和防治植被破坏、水土流失、水源枯竭、种源灭绝以及其他生态失调现象的发生和发展,推广植物病虫害的综合防治,合理使用化肥、农药及植物生长激素。

第二十一条　国务院和沿海地方各级人民政府应当加强对海洋环境的保护,向海洋排放污染物、倾倒废弃物,进行海岸工程建设和海洋石油勘探开发,必须依照法律的规定,防止对海洋环境的污染损害。

第二十二条　制定城市规划,应当确定保护和改善环境的目标和任务。

第二十三条　城乡建设应当结合当地自然环境的特点,保护植被、水域和自然景观,加强城市园林、绿地和风景名胜区的建设。

第四章　防治环境污染和其他公害

第二十四条　产生环境污染和其他公害的单位,必须把环境保护工作纳入计划,建立环境保护责任制度;采取有效措施,防治在生产建设或者其他活动中产生的废气、废水、废渣、粉尘、恶臭气体、放射性物质以及噪声、振动、电磁波辐射等对环境的污染和危害。

第二十五条　新建工业企业和现有工业企业的技术改造,应当采用资源利用率高、污染物排放量少的设备和工艺,采用经济合理的废弃物综合利用技术和污染物处理技术。

第二十六条　建设项目中防治污染的设施,必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。防治污染的设施必须经原审批环境影响报告书的环境保护行政主管部门验收合格后,该建设项目方可投入生产或者使用。

防治污染的设施不得擅自拆除或者闲置,确有必要拆除或者闲置的,必须征得所在地的环境保护行政主管部门同意。

第二十七条　排放污染物的企业事业单位,必须依照国务院环境保护行政主管部门的规定申报登记。

第二十八条　排放污染物超过国家或者地方规定的污染物排放标准的企业事业单位,依照国家规定缴纳超标准排污费,并负责治理。水污染防治法另有规定的,依照水污染防治法的规定执行。

征收的超标准排污费必须用于污染的防治,不得挪作他用,具体使用办法由国务院规定。

第二十九条　对造成环境严重污染的企业事业单位,限期治理。

中央或者省、自治区、直辖市人民政府直接管辖的企业事业单位的限期治理,由省、自治区、直辖市人民政府决定。市、县或者市、县以下人民政府管辖的企业事业单位的限期治理,由市、县人民政府决定。被限期治理的企业事业单位必须如期完成治理任务。

第三十条　禁止引进不符合我国环境保护规定要求的技术和设备。

第三十一条　因发生事故或者其他突然性事件,造成或者可能造成污染事故的单位,必须立即采取措施处理,及时通报可能受到污染危害的单位和居民,并向当地环境保护行政主管部门和有关部门报告,接受调查处理。可能发生重大污染事故的企业事业单位,应当采取措施,加强防范。

第三十二条　县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门,在环境受到严重污染威胁居民财产安全时,必须立即向当地人民政府报告,由人民政府采取有效措施,解除或者减轻危害。

第三十三条　生产、储存、运输、销售、使用有毒化学物品和含有放射性物质的物品,必须遵守国家有关规定,防止污染环境。

第三十四条　任何单位不得将产生严重污染的生产设备转移给没有污染防治能力的单位使用。

第五章　法律责任

第三十五条　违反本法规定,有下列行为之一的,环境保护行政主管部门或者其他依照法律规定行使环境监督管理权的部门可以根据不同情节,给予警告或者处以罚款:

(一)拒绝环境保护行政主管部门或者其他依照法律规定行使环境监督管理权的部门现场检查或者在被检查时弄虚作假的;

(二)拒报或者谎报国务院环境保护行政主管部门规定的有关污染物排放申报事项的;

(三)不按国家规定缴纳超标准排污费的;

(四)引进不符合我国环境保护规定要求的技术和设备的;

(五)将产生严重污染的生产设备转移给没有污染防治能力的单位使用的。

第三十六条　建设项目的防治污染设施没有建成或者没有达到国家规定的要求,投入生产或者使用的,由批准该建设项目的环境影响报告书的环境保护行政主管部门责令停止生产或者使用,可以并处罚款。

第三十七条　未经环境保护行政主管部门同意,擅自拆除或者闲置防治污染的设施,污染物排放超过规定的排放标准的,由环境保护行政主管部门责令重新安装使用,并处罚款。

第三十八条　对违反本法规定,造成环境污染事故的企业事业单位,由环境保护行政主管部门或者其他依照法律规定行使环境监督管理权的部门根据所造成的危害后果处以罚款;情节较重的,对有关责任人员由其所在单位或者政府主管机关给予行政处分。

第三十九条　对经限期治理逾期未完成治理任务的企业事业单位,除依照国家规定加收超标准排污费外,可以根据所造成的危害后果处以罚款,或者责令停业、关闭。

前款规定的罚款由环境保护行政主管部门决定。责令停业、关闭,由作出限期治理决定的人民政府决定;责令中央直接管辖的企业事业单位停业、关闭,须报国务院批准。

第四十条　当事人对行政处罚决定不服的,可以在接到处罚通知之日起十五日内,向作出处罚决定的机关的上一级机关申请复议;对复议决定不服的,可以在接到复议决定之日起十五日内,向人民法院起诉。当事人也可以在接到处罚通知十五日内,直接向人民法院起诉。当事人逾期不申请复议、也不向人民法院起诉、又不履行处罚决定的,由作出处罚决定的机关申请人民法院强制执行。

第四十一条　造成环境污染危害的,有责任排除危害,并对直接受到损害的单位或者个人赔偿损失。

赔偿责任和赔偿金额的纠纷,可以根据当事人的请求,由环境保护行政主管部门或者其他依照法律规定行使环境监督管理权的部门处理;当事人对处理决定不服的,可以向人民法院起诉。当事人也可以直接向人民法院起诉。

完全由于不可抗拒的自然灾害,并经及时采取合理措施,仍然不能避免造成环境污染损害的,免予承担责任。

第四十二条　因环境污染损害赔偿提起诉讼的时效期间为三年,从当事人知道或者应当知道受到污染损害时起计算。

第四十三条　违反本法规定,造成重大环境污染事故,导致公私财产重大损失或者人身伤亡的严重后果的,对直接责任人员依法追究刑事责任。

第四十四条　违反本法规定,造成土地、森林、草原、水、矿产、渔业、野生动植物等资源的破坏的,依照有关法律的规定承担法律责任。

第四十五条　环境保护监督管理人员滥用职权、玩忽职守、徇私舞弊的,由其所在单位或者上级主管机关给予行政处分;构成犯罪的,依法追究刑事责任。

第六章　附　　则

第四十六条　中华人民共和国缔结或者参加的与环境保护有关的国际条约,同中华人民共和国的法律有不同规定的,适用国际条约的规定,但中华人民共和国声明保留的条款除外。

第四十七条　本法自公布之日起施行。《中华人民共和国环境保护法(试行)》同时废止。

第三章　水资源及其开发利用

第一节　水循环和水量平衡
(Hydrologic Cycle and Hydrologic Balance)

3.1.1　水圈、水体与水环境(Hydrosphere, Water Body and Water Environment)

1. 水圈

水是地球上分布最广和最重要的物质,是参与生命的形成和地表物质能量转化的重要因素,也是人类社会赖以生存和发展的自然资源。

地球上的水以气态、液态和固态三种形式存在于空中、地表与地下,成为大气水、海水、陆地水(包括河水、湖水、沼泽水、冰雪水、土壤水、地下水),以及存在于生物体内的生物水,这些水不停运动和相互联系着构成水圈。

地球上水的总储量约为 $1.38\times10^{9}km^{3}$,其中海洋占 97.41%,覆盖了地球表面积的 71%。淡水仅占地球总水量的 2.59%,而其中又大约有 70% 以上属固态水——冰,储存在极地和高山上,只有不到 30% 的淡水存在于地下、湖泊、土壤、河流、大气等之中。由此可见,水圈是指地球上被水和冰雪所占有或覆盖而构成的圈层。考虑到大气水分与地下水,水圈的上限可为对流层顶,下限为深层地下水所及的深度。地球上的水循环是形成水圈的动力。在地球上只有在水循环的作用下,才能把各个特征不同的水体联系起来形成水圈。水圈的水与大气圈、生物圈、岩石圈、土壤圈之间有极密切的关系,并形成各种方式的水交换。

2. 水体

所谓水体,是指以一定形态存在于自然地理环境中的水的总称。水体是一个完整的生态系统,其中包括水、水中的悬浮物、溶解物、底质和水生生物等。水体类型可划分为海洋水体(包括海、洋)和陆地水体(如河流、湖泊等),也可划分为地表水体和地下水体。水体也可以按其流动性划分为流水水体和静水水体,前者如河流,后者如湖泊、沼泽。从广义上理解,水体也包括大气中的水和生物有机体中的水等等。

3. 水资源

水资源是地球上目前和近期人类可直接或间接利用的水量,是自然资源的一个重要组成部分,为人类生产和生活中不可缺少的一种资源。

水资源和其他自然资源不同,有其独自的特点:

①它是再生的资源,可以短期内重复多次使用。

②储存形式和运动过程受自然地理和人类活动的影响。

③年内的变化有周期性,近似性和不重复性。

由于人类科学技术不断发展,水的可利用部分不断增加。例如,南极的冰块、深层地下水、高山上的冰川积雪、波浪和潮汐发电等等,都在逐渐被开发利用。因此,水资源的范围随着人类的科学技术发展不断扩大。

4. 水环境

水环境一词是在 20 世纪 70 年代出现的,目前还没有明确的定义。《环境科学大辞典》的解释是:"水环境是地球上分布的各种水体以及与其密切相连的诸环境要素如河床、海岸、植被、土壤等"。它的独特涵义是:"水环境是构成环境的基本要素之一,是人类赖以生存和发展的重要场所,也是受人类干扰和破坏最严重的地区。"

水环境可根据其范围的大小分为区域水环境(如流域水环境、城市水环境等)、全球水环境。对某个特定的地区而言,该区域内的各种水体如湖泊、水库、河流和地下水等,应视为该水环境的重要组成部分,因此,水环境又可分为地表水环境和地下水环境。地表水环境包括河流、湖泊、水库、池塘、沼泽等;地下水环境包括泉水、浅层地下水和深层地下水等。

当前,水环境污染已成为世界上重要的环境问题之一。所以对水环境进行合理利用和保护,是环境保护和研究的主要内容。

3.1.2 水循环(Hydrologic Cycle)

1. 水循环及其成因

地表水、地下水和生物有机体内的水,不断蒸发和蒸腾,化为水汽,上升至空中,冷却凝结成水滴或冰晶,在一定的条件下,以降水的形式落到地球表面。降落于地表的水又重新产生蒸发、凝结、降水和径流等变化。水的这种不断地蒸发、输送、凝结、降落的往复运动过程称为水循环。

水循环的产生有其内因和外因。内因是水的"三态"变化,也就是在常温的条件下,水的气态、液态、固态可以相互转化。这使水分循环过程的转移、交换成为可能。其外因是太阳辐射和地心引力。太阳辐射的热力作用为水的"三态"转化提供了条件;太阳辐射分布的不均匀性和海陆的热力性质的差异,造成空气的流动,为水汽的移动创造了条件。地心引力(重力)则促使水从高处向低处流动,从而实现了水循环。

整个水循环过程包括了蒸发、降水、径流三个阶段和水分蒸发、水汽输送、凝结

降水、水分下渗、径流五个环节。

水循环通过三个阶段五个环节,使天空与地面、地表与地下、海洋与陆地之间的水相互交换,使水圈内的水形成一个统一的整体。

2. 水循环的类型

地球上的水循环,根据其路径和规模的不同,可分为大循环和小循环,见图 3.1。

图 3.1　水循环示意图

大循环:从海洋表面蒸发的水汽,被气流带到大陆上空,在适当的条件下,以降水的形式降落到地面后,其中一部分蒸发到空中,另一部分经过地表和地下径流又回到海洋,这种海陆之间的水分交换过程,称为大循环,也称海陆间循环。它是由许多小循环组成的复杂的水分循环过程。

小循环:指水仅在局部地区(海洋或陆地)内完成的循环过程,可分为海洋小循环和陆地小循环。海洋小循环就是从海洋表面蒸发的水汽,在空中凝结,以降水形式降落回海洋上的循环过程。陆地小循环就是从陆地上蒸发的水汽,在空中凝结,以降水形式降落回陆地上的循环过程。

3. 水循环的意义

水循环对于全球性水分和热量的再分配起着重大的作用,这种作用与大气循环相互联系而发生,从而影响了一地气候的主要方面——降水与气温。水循环具有物质“传输带”的作用,而且又是岩石圈表层机械搬运作用以及自然地理环境中无机成分和有机成分化学元素迁移的强大动力。在水循环过程中伴随产生了各种常态地貌和河流、地下水、湖泊等等。水循环也是生物有机体维持生命活动和整个生物圈构成复杂的水胶体系统的基本条件,起着有机界和无机界联系的纽带作用。总之,水循环犹如自然地理环境的“血液循环”,它沟通了各基本圈层的物质交换,

促使各种联系的发生。水循环过程同时起着水文过程、气候过程、地形过程、土壤过程、生物过程,以及地球化学过程等作用。

3.1.3 水量平衡(Hydrologic Balance)

根据"物质不灭定律",所谓水量平衡,是指任一区域(如一个流域)在任一时段(如一年)内,其收入水量等于支出水量和区域内蓄水变量之和。即

$$W_{入} = W_{出} \pm \Delta u$$

式中:$W_{入}$为收入水量;$W_{出}$为支出水量;Δu为蓄水变量。在多水期Δu为正值,表示蓄水量增加;在少水期Δu为负值,表示蓄水量减少;在多年情况下Δu为零,表示多年中蓄水量平均起来是保持不变的,此时的平均水量即为:$W_{入} = W_{出}$。

水量平衡方程式是水分循环的数学表达式,根据不同的区域可建立不同的水量平衡方程。

1. 通用水量平衡方程

现以陆地上任一地区为研究对象,取其三度空间的闭合柱体,其上界为地表,下界为无水分交换的深度。这样,对任一闭合柱体,任一时间内的水量平衡方程式为

$$P + E_1 + R_1 + R_2 + u_1 = E_2 + R_1' + R_2' + q + u_2$$

式中:P为时段内降水量;E_1, E_2分别为时段内水汽凝结量和蒸发量;R_1, R_1'分别为时段内地表流入与流出水量;R_2, R_2'分别为时段内从地下流入与流出的水量;q为时段内工农业及生活净用水量;u_1, u_2分别为时段始末蓄水量。

若令$E = E_2 - E_1$为时段内净蒸发量,$\Delta u = u_2 - u_1$为时段内蓄水变量,则上式可改写为

$$(P + R_1 + R_2) - (E + R_1' + R_2' + q) = \Delta u$$

此式即为通用水量平衡方程式。

2. 流域水量平衡方程

若将通用公式应用于一个流域内,则称流域水量平衡方程。流域有非闭合流域和闭合流域之分。

若所研究的水量平衡区为非闭合流域(即流域的地下分水线与地表分水线不相重合),则通用水量平衡方程式中的$R_1 = 0$,则其水量平衡方程式为

$$(P + R_2) - (E + R_1' + R_2' + q) = \Delta u$$

若所研究的水量平衡区为闭合流域(即流域的地下分水线与地表分水线相重合),则通用水量平衡方程式中的$R_1 = 0$, $R_2 = 0$,并令$R_1' + R_2' + q = R$,则其水量

平衡方程式为

$$P-(E+R)=\Delta u$$

在多年的情况下,蓄水变量(Δu)趋于零。于是多年闭合流域的水平衡方程式为

$$P=E+R$$

3. 全球水量平衡方程

地球上多年水量并无明显的增减现象。对于海洋上,多年平均降水量($P_{洋}$)和大陆上流入海洋的多年平均径流量(R)之和应等于多年平均蒸发量($E_{洋}$),其水量平衡方程式为

$$P_{洋}+R=E_{洋}$$

在大陆上,多年平均降水量($P_{陆}$)与流出大陆的多年平均径流量(R)之差等于多年平均蒸发量($E_{陆}$),其水量平衡方程式为

$$P_{陆}-R=E_{陆}$$

把上两式相加,即得全球水量平衡方程式

$$P_{洋}+P_{陆}=E_{洋}+E_{陆}$$

也即是全球的降水量($P_{全}$)与蒸发量($E_{全}$)相等

$$P_{全}=E_{全}$$

从全球水量平衡中可以看出,它具有如下几个特点:全球水量是平衡的;海洋蒸发量大于降水量,而陆上蒸发量小于降水量;海洋是大气水和陆地水的主要来源;海洋气团在陆地降水中起主要作用。

地球上的水量平衡各要素值,见表 3.1。

表 3.1　地球上的水量平衡

区域		水量平衡要素					
		蒸发量		降水量		径流量	
		(km^3)	(mm)	(km^3)	(mm)	(km^3)	(mm)
海洋		505 000	1 400	458 000	1 270	47 000	130
陆地	内流区	9 000	300	9 000	300		
	外流区	63 000	529	110 000	924	47 000	395
全球		577 000	1 130	577 000	1 130		

第二节 地 表 水
(Surface Water)

在上一节中提到,地表水环境主要包括河流、湖泊、水库、池塘、沼泽等。本节主要介绍其中最为重要的河流和湖泊。

3.2.1 河流(Rivers)

1. 概述

陆地表面经常或间歇有水流动的泄水凹槽,称为河流。即河流为流动的水的总称。它主要是水流侵蚀作用的结果。

河流是水循环的一个重要组成部分,是地球上重要的水体之一。它是塑造地表形态的动力,对气候和植被等都有重要的影响。自古以来,河流与人类的关系密切,它是重要的自然资源,在灌溉、航运、发电、水产和城市供水等方面发挥着巨大的作用。

2. 河流的水情要素

(1)水位

水位是指河流某处的水面高程。它以一定的零点作为起算的标准,该标准称为基面。我国目前统一采用青岛基面。在生产和研究中,常用的特征水位有:

平均水位:指研究时段内水位平均值。如月平均水位、年平均水位、多年平均水位。

最高水位和最低水位:指研究时段内水位的最大值和最小值。如月最高和最低水位,年最高和最低水位,多年最高和最低水位等。

(2)流速

流速的脉动现象:流速是指河流中水质点在单位时间内移动的距离。河水的流动属紊流运动。紊流的特性之一是水流各质点的瞬时流速的大小和方向都随时间不断变化,称其为流速脉动。

河道中流速的分布:天然河道中流速的分布十分复杂,在垂线上(水深方向),从河底至水面,流速随着糙度影响的减小而增大。最小流速在河底,最大流速在水面下某一深度。河流横断面上各点流速,随着在深度和宽度上的位置以及水力条件变化而不同,一般都由河底向水面,由两岸向河心逐渐增大,最大流速出现在水流中部。

(3)流量

单位时间内通过某一过水断面水的体积称流量,单位为 m^3/s。由于河道断面上流速分布不均,使每秒通过过水断面的水体积为一不规则曲面体,称其为流量模型。根据流量的定义,通过微分面积 dF 的流量 dQ = vdF,则断面流量可用下式表示

$$Q = \int dQ = \int_0^F v dF$$

因此,测定某断面的流量就要进行流速和断面的测定。从上式可导出

$$Q = F \cdot v$$

式中:F 为过水断面面积,m^2;v 为断面平均流速,m/s。

在河流断面上,流量增大,水位升高;流量减小,水位降低。因此,水位和流量具有一定的关系,可用下式表示

$$Q = f(H)$$

这种关系可用一条曲线表示,即水位流量关系曲线。流量代表着河流的水资源,应用很广泛,故有多种特征值如:瞬时流量;日平均流量;月平均流量;年平均流量等。如将某一时段内的流量加合起来,则叫某时段的径流总量(W),常用以表示水资源

$$W = Q \cdot T$$

式中,Q 为 T 时段内的平均流量。

3. 河流的补给

河流的补给又称为河流的水源。河流补给的类型及其变化,决定着河流水情要素的变化和河流的特性。

根据降水形式及其向河流运动的路径的不同,河流补给可分为雨水补给、融水补给、湖泊和沼泽水补给、地下水补给等类型。

(1)雨水补给

雨水补给是河流最主要的补给类型。大气降落的雨水直接落入河槽的水量是十分有限的,它主要是通过在流域内形成的地表径流来补给河流的。因此,雨水补给与降雨特性和下垫面性质密切相关。

雨水补给的特点,主要决定于降雨量和降雨特性。降雨量的大小决定了补给水量的大小。降雨量大,补给量也大;否则相反。由于降雨具有不连续性和集中性,使雨水补给也具有不连续性和集中性,流量过程线呈陡涨急落的锯齿状,与降雨过程大体一致。由于降雨具有年内、年际变化大的特点,使雨水补给的年内、年际变化大。降雨强度的大小也决定了补给量的大小,降雨强度大,历时短,损耗量少,补给流量的水量较多。雨水补给的河流,由于雨水对地表的冲刷作用,所以河

流的含沙量也大。

(2)融水补给

融水补给包括季节性积雪融水和永久积雪或冰川融水的补给。融水补给特点主要决定于冰雪量和气温的变化。冰雪量决定了补给量,冰雪量大,补给量就大。由于气温变化具有连续性和变化缓和,使融水补给也具有连续性和较缓和,流量过程线与气温变化过程线一致,流量过程线较平缓和圆滑。由于气温的年际变化小,融水补给的年际变化也较小。由于气温具有日周期变化和年周期变化,故使融水补给量也具有明显的日周期变化和年周期变化。如日周期变化,白天气温高,融水多,补给量大;夜晚气温低,融水少,补给量小。又由于融水对地表冲刷作用小,河流含沙量也较小。

(3)湖泊、沼泽水补给

湖泊可位于河流的源头(如我国长白山的天池),也可位于河流的中下游地区。湖泊水对河流的补给,主要是由于湖泊面积广阔,深度较大,它接纳了大气降水和地表水,并能暂时储存起来,然后再缓慢流出补给河流,对河流水量起着调节作用,大大降低了河流的洪峰流量,使河流水量年内变化趋于均匀。

沼泽水补给对河流水量也能起一定的调节作用。沼泽水深不像湖泊那么深,但由于沼泽中水的运动多属于渗流运动,故补给河流的过程较缓慢,起着调节作用,使河流的流量过程线较平缓。

(4)地下水补给

地下水是河流经常而又比较稳定的补给源。我国冬季降雨稀少时,河流几乎全靠地下水补给。地下水补给的特点,总的说来,是稳定而变化小。地下水可分浅层地下水和深层地下水。浅层地下水是埋藏于地表冲积物中的地下水。由于其埋藏浅,上面又没有稳定隔水层覆盖,因此,它受当地气候条件影响较大,补给水量有明显的季节变化而较不稳定。但它与河水有特殊的河岸调节关系。当河水涨水时,河水位高于地下水位,这时河水补给地下水,把部分河水暂时储存在地下;当河水位下降并低于地下水位时,则地下水补给河水。

深层地下水由于埋藏较深,受当地气候条件影响较小,其补给水量只有年际变化,季节变化不明显,故它是河流最稳定的补给来源。

除了河流的天然补给以外,还有人工补给。人工补给主要是通过跨流域引水、抽取地下水、人工融冰化雪、人工降雨等方式来扩大河流水源。

河流的补给多一点除少数以外,实际上不是单一的补给形式,起码都同时具有两种以上的补给水源,只是以哪种为主罢了。例如,我国的河流,其补给类型主要是雨水补给,其他类型的补给所占的密度较小。

4. 河川径流

径流是指大气降水到达陆地上,除掉蒸发而余存在地表上或地下,从高处向低处流动的水流。径流可分地表径流和地下径流。而从地表和地下汇入河川后,向流域出口断面汇集的水流称为河川径流。

(1)影响河川径流的因素

径流的形成是各种自然地理因素综合作用的结果。影响径流的因素主要有气候、下垫面和人为因素。

气候因素:气候是影响河川径流的最基本和重要因素,气候因素中的降水和蒸发直接影响径流的大小和变化。概括地说,降水多、蒸发少,则径流多,反之则少。在降水总量相同的情况下,降水的季节分配、强度、历时、雨区分布都会影响径流的大小和变化。

下垫面因素:流层的下垫面因素具有对降水再分配的功能。下垫面因素包括地貌、土壤、地质、植被、湖沼等。

人为因素:人类活动影响径流是多方面的。例如,植树造林、修筑梯田,可以增加下渗水,调节径流变化;修水库虽然增加蒸发量,但可有计划地控制径流量,蓄洪补枯,均匀径流的年内分配;而不合理的进行枯水期灌溉,以及围湖、伐林扩大农田等,都会加剧河川径流的变化,甚至引起灾害。

(2)河川径流的年内变化

我国河川径流的年内变化可分为四个阶段:

春季春汛或平水、枯水:北方河流由于冰雪融解,河流水位上涨、水量增加形成春汛,其中以东北的河流更为显著。此时南方的河流由于雨季开始早,径流迅速增加,径流量亦大。但华北、西北地区春旱严重,河流大都处于枯水期。

夏季洪水:夏季是我国河川径流最丰富的季节,大多数河流都出现夏季洪水期。

秋季平水:秋季是我国河川径流普遍减退季节,是由夏季洪水过渡到冬季枯水之间的平水期。

冬季枯水:冬季是我国大部分河流最枯竭的季节。在干旱和半干旱地区小河常断流。

5. 河流的分类

河流的水文情势与其所处流域的自然地理条件有密切的关系。由于各地自然地理环境条件不同,每一条河流都具有特殊的个性。但因自然地理环境也有相似性,故各河流之间又有相似之处。为了便于河流水资源的开发利用,对河流进行分类。

依据河流的补给和洪水进行分类,将河流分成四类九型。

(1)融水补给的河流

①平原和 1000 m 以上山地融雪水补给的河流。

②山中冰雪融水补给的河流。

③春季或夏初雪水补给为主,常年有多量雨水补给的河流。

(2)雨水补给的河流

①雨水补给,夏季有洪水的河流。

②冬季雨水补给为主,全年分配较均匀的河流。

③冬季雨水补给丰足,夏季降水很少的河流。

④由于气候干燥而不成河流。

(3)融雪及雨水补给都不足的河流(干涸河流)

(4)冰川补给的河流(为南极洲和格陵兰岛所特有)

一些小流域气候变化较均匀,河流补给类型较易划分。但对于大流域来说,自然条件较复杂,故其补给很少属于单一类型,只能分段或分支流划分其河流类型。

3.2.2 湖泊(Lakes)

1. 概述

湖泊是指终年蓄积了水,又不直接与海洋相连的天然洼地。它是湖盆和湖水的总称。因此,湖泊不仅有湖盆,并且要有长期蓄水,才能形成湖泊。

湖水是地球上陆地水的组成部分。世界上各大陆都有很多湖泊。地球上湖泊的总面积有 270 万 km^2,占全部大陆面积的 1.8%。

湖泊具有调节河川径流和气候的作用。湖泊也是人类宝贵的自然资源之一,是人类生活和生产的重要水源。

湖泊有其形成、发展与消亡的过程。湖泊是在内、外力相互作用下形成的。以内力作用为主形成的湖泊主要有构造湖、火口湖和阻塞湖等;以外力作用为主形成的湖泊主要有河成湖、风成湖、冰成湖、海成湖以及溶蚀湖等。

湖泊一旦形成,由于自然环境的变迁,人类活动的影响,湖盆形态、湖水性质、湖中生物等均在不断地发生变化。其中湖泊形态的改变往往会导致其他方面的变化。湖泊由深变浅、由大变小,湖岸由弯曲变为平直,湖底由凹凸变为平坦。干燥区的湖泊由于盐分不断积累,淡水湖转化为咸水湖。盐度较小的湖泊其生物大致与淡水湖相同,盐度大的湖泊,淡水生物很难生存。当水量继续蒸发减少,咸水湖可以变干,转化为盐沼,至此湖泊全部消亡。

2. 湖泊的分类

湖泊的分类方法很多,主要有:按湖盆成因分类,按湖水补排情况分类,按湖水

矿化度分类,按湖水营养物质分类等。

按湖盆的成因分类,可分为构造湖、火口湖、阻塞湖、河成湖、风成湖、冰成湖、海成湖和溶蚀湖等。

按湖水进出情况分类,可分为吞吐湖和闭口湖。前者既有河水注入,又能流出,例如洞庭湖、鄱阳湖等;后者只有入湖河流,没有出湖水流,例如青梅湖、里海等。

按湖水与海洋沟通情况分类,可分为外流湖与内陆湖。外流湖是湖水能通过出流河汇入大海者。例如太湖、洪泽湖等;内陆湖则与海隔绝,湖水不能外流入海。例如罗布泊(现已干涸)等。

按湖水矿化度分类,可分为淡水湖,矿化度小于 1g/ L;微咸湖,矿化度在 1～24g/ L;咸水湖,矿化度在 24～35g/ L;盐水湖,矿化度大于 35g/ L。外流湖大多为淡水湖,内陆湖则多为咸水湖、盐水湖。

按湖水所含溶解性营养物质的不同,可分为贫营养湖、中营养湖、富营养湖。

3. 湖泊水量平衡

湖泊水量由于收入和支出不尽相同,因而湖泊中储存的水量也在变化。其水量平衡方程为

$$P + E_1 + R_{表} + R_{地} = E_2 + R'_{表} + R'_{地} + q \pm \Delta u$$

式中:P 为降水量;E_1为湖面水汽凝结量;$R_{表}$和 $R_{地}$为地表和地下入流量;$R'_{表}$和$R'_{地}$为地表和地下出流量;E_2为湖面蒸发量;q 为工农业与城市引用水量;Δu 为时段始末湖水量的变化值。以上各项均按计算时段计算。单位为 m^3。

若为内陆湖泊,湖水的收入量仅用于蒸发(E)。若多年期间地下水的收入与支出量可认为没有变化,则内陆湖泊水量平衡方程为

$$P + R = E$$

式中:P 为湖面降水量;E 为入湖地表径流量。

3.2.3　我国的地表水资源概况(General Situation of the Surface Water Resource in China)

我国江河众多,流域面积 100 km^2以上的河流有 5 万多条,面积 1000 km^2以上的河流也有 1500 多条。外流河区域占全国土地总面积的 65%,内陆河区域占全国土地总面积的 35%。根据各江河 1956～1979 年 24 年间同步期系列资料分析计算,全国多年平均年径流量为 27115 亿 m^3,平均年径流深 284mm。其中最大的是 1973 年,年径流量 32490 亿 m^3,最小的是 1978 年,年径流量的比值为 1.37,变差是比较小的。

在地表水体中,水面面积大于 1 km^2的湖泊约有 2300 个,湖泊总面积为 7.2 万

平方千米,约占全国总面积的 0.8%。总储水量约 7090 亿 m^3,其中淡水湖多与外流河相通,可互济水量。湖泊总储水量中约有 1/3 为淡水。全国冰川总面积约 58500 km^2,总储水量约 51000 亿 m^3,冰川年融水量仅 560 亿 m^3,是我国西部河流的补给来源之一。全国内陆水域淡水总面积约 0.27 亿公顷,以江河为主,约占 45%,其次是湖泊、水库,约占 30%。

中国主要水系有松花江、辽河、海河、黄河、淮河、长江及珠江等七大水系,其径流总量占全国总径流量的 35%。中国湖泊主要集中分布在五个地区,称五大湖群,即青藏高原湖区、东部平原湖区、蒙新高原湖区、东北平原和山地湖区以及云贵高原湖区。

第三节 地 下 水
(Ground Water)

3.3.1 地下水及其来源(Ground Water and Its Source)

地下水,就是埋藏在地面以下,土壤、岩石空隙中的各种状态的水。地下水包括气体状态、固体状态、液体状态等形态。而液体状态的地下水又可分为润湿状态、薄膜状态、毛细管状态和自由重力状态等。各种状态的地下水是彼此互相联系的,并在一定条件下可以互相转化。

地下水是河流补给来源之一,也积极参与水循环,也是人类一项宝贵的自然资源。它可直接作为都市给水、灌溉用水、工矿业用水的水源。在某些地区,深层地下水含有较高的矿物质成分,如食盐、芒硝、钾盐、碘、溴等,可以提炼作为化学工业的原料。有些矿泉具有医疗上的作用。地下热水又可利用来发电。地下水对农作物生长也有很大影响,如地下水水位过高易产生盐渍化,不利于农作物生长。地下水还往往能导致局部的动力地质地貌现象,如山崩、滑塌、陷穴、溶洞等,对厂房建筑、水利、交通建设等都有极大的影响。若过量地开采和不合理利用地下水,则会造成地面沉降,地下水源遭受污染等。

地下水的来源有三方面:

①渗透水。大气降水和地表水下渗土壤岩石的孔隙中而成为地下水。这是地下水最主要的来源。

②凝结水。大气中的水汽,在空中水汽压大于地下水汽压时,水汽流入地下,在土壤、岩石的孔隙中直接凝结而成地下水。这种水在沙漠地区可以较为明显地看到。有些地区凝结量可达当地地下水水量的 20%。

③岩浆逸出水。岩浆中分离出来的气体化合而成地下水。这种水的水量是很少的。

3.3.2　地下水的类型(Types of Ground Water)

地下水流系统在空间上的立体性,是地下水与地表水之间存在的主要差异之一。而地下水垂向的层次结构则是地下水空间立体性的具体表征。图 3.2 为典型水文地质条件下,地下水垂向层次结构的基本模式。自地表面起至地下某一深度出现不透水基岩为止,可划分为包气带和饱和水带两大部分。包气带是指地面以下,地下水面以上不饱和的土壤含水带。包气带又可进一步区分为土壤水带、中间过渡带及毛细管水带等三个亚带。饱和水带则可区分为潜水带和承压水带两个亚带。从储水形式来看,与包气带相对应的是存在结合水(包括吸湿水和薄膜水)和毛管水;与饱和水带相对应的是重力水(包括潜水和承压水)。

图 3.2　地下水垂向结构基本模式示意图

根据埋藏条件,地下水可划分为三种类型。

1. 上层滞水

上层滞水是存在于包气带中局部隔水层上的重力水。它是大气降水或地表水在下渗途中,遇到局部不透水层的阻挡后,在其上聚积而成的地下水。

由于上层滞水是包气带内的局部饱水带,其埋藏条件决定了上层滞水具有如下特征:分布范围不广,水量小;补给区与分布区一致;补给源为大气降水或地表水;以蒸发、下渗或向隔水层边缘流散的方式进行排泄;动态变化不稳定,具有季节性,只能作暂时性和小型供水水源;易受污染,故作饮用水源时应注意防止污染。

上层滞水的动态变化主要决定于气候,同时也与隔水层的分布范围、厚度、透水性及埋藏深度等有关。若降水量较大,降水季节较长,蒸发量较小,其下渗水量较大,则上层滞水存在的时间也较长。反之,降水量小、降水季节较短、蒸发量较大,则上层滞水存在的时间就较短。当隔水层分布范围不大、厚度小、隔水性不强

和埋藏较浅时,则上层滞水因不断向四周流散、下渗以及蒸发的结果,其存在的时间则较短;当隔水层的分布范围和厚度较大,埋藏较深,隔水性良好的条件下,则上层滞水存在的时间较长。

2 潜水

埋藏在地表以下第一个稳定隔水层之上,具有自由表面的重力水称为潜水。潜水的自由表面称为潜水面。潜水面的绝对标高称为潜水位。潜水面至地面的距离称为潜水埋藏深度。由潜水面向下至隔水层顶面间充满重力水的部分,称为含水层。自潜水面向下到隔水层顶面的距离,称为含水层的厚度。

潜水的埋藏条件,决定了潜水具有以下特征:潜水面不承受静水压力;分布区与补给区一致;动态变化较不稳定,有明显的季节变化;潜水的补给条件较好,水量丰富;潜水的水质随气候有季节变化,且易受污染。

潜水面的形状通常是具有一定倾斜的曲面。总的说来,潜水面的形状与地形大体一致,但比地形起伏要平缓得多。岩土的透水性增强,潜水面坡度趋于平缓;反之,变陡。隔水底板凹陷使含水层厚度增大的地段,潜水面的坡度趋于平缓;反之变陡。在隔水层凹盆中,潜水不外溢时,则潜水面呈水平状态,称为潜水湖。

潜水面形状可用潜水剖面图和潜水等水位线图表示。

3 承压水

承压水是充满于两个稳定隔水层之间含水层中具有压力的地下水。而在两个稳定隔水层之间的含水层没有被水完全充满,具有自由水面的地下水,称无压层间水。若承压水在地形条件适宜时,其天然露头或经钻孔,揭露了含水层时,产生自流现象的地下水,称为自流水。上下隔水层分别称为隔水层顶板和底板。两隔水层间的垂直距离称为承压水含水层厚度。当钻孔打穿隔水层顶板时,在静水压力的作用下,水位上升到一定高度不再上升时,这个最终的稳定水位,叫该点的承压水位。自隔水层顶板底面到承压水位之间的铅垂距离称为承压水头,也称压力水头。承压水含水层在盆地边缘出露于地表的位置较高,可直接受大气降水或地表水补给的范围称为补给区。承压水含水层在承压盆地边缘,地势较低的地段或含水层被切割,这地段便成为承压水的排泄区。在补给区与排泄区之间,承压含水层之上被隔水层覆盖,并且含水层被水充满的这个地段,称为承压区。

由承压水的埋藏条件,决定了它具有如下特征:承压水具有一定的压力水头;补给区与承压区不一致;动态变化较稳定,没有明显的季节变化;补给条件较差,若大规模开发后,水的补充和恢复较缓慢;水质随埋深变化大,有垂直分带规律,但不易受污染。

3.3.3　地下水的补给与排泄(Supply and Discharge of the Ground Water)

1. 地下水的补给

地下水的补给主要有大气降水、地表水的渗入,大气中水汽和包气带岩石空隙中水汽的凝结,此外还有人工补给等。

(1)大气降水的渗入补给

大气降水是地下水最主要的补给来源。大气降水到达地面以后被土壤颗粒表面吸附形成薄膜水。当薄膜水达到最大水量之后,继续下渗的水被吸入细小的毛管孔隙而形成悬挂毛管水。当包气带中的结合水及悬挂毛管水达到极限以后,这时雨水在重力作用下通过静水压力传递,不断地补给地下水。由此可见,降水的下渗过程是水在分子力、毛管力和重力的综合作用下进行的,下渗强度随土壤湿度而变化。

(2)地表水的渗入补给

地表水与地下水间的补给,决定于地表水水位与地下水位的关系。如山区河流,河水位常低于地下水位,河流不能补给地下水,而只能起排泄地下水的作用。在山前地段的河流,河床抬高,河水补给地下水。一般在冲积平原上的河流,地表水和枯水期地下水向河流排泄;在汛期河水上涨快,地下水上涨慢,河水反过来补给地下水。

地表水补给地下水量的大小,取决于地表水体底部岩石的透水性,地表水位与地下水位的相对高差,以及地表水与地下水有联系地段的长度。

(3)水汽凝结

在夏季,白天大气和包气带都吸热,但地表气温高于包气带土层中空气温度,使大气中的水汽向包气带内移动,从而增大了包气带空气湿度。在夜晚,土壤散热比大气快,当地温降到一定程度时,土壤孔隙中水汽达到饱和凝结成水滴,形成重力水下渗补给地下水。

(4)人工补给

包括人类某些生产活动,如修水库、灌农田、工业和城市排放的废水通过渗漏等对地下水的补给,以及人类有目的的引水直接回灌地下水。

2. 地下水的排泄

地下水的排泄方式有点状排泄——泉;线状排泄——向河流排泄;面状排泄——蒸发与人工排泄等。

地下水通过地下途径直接排入河道或其他地表水体称泄流。泄流只有在地下水位高于地表水位时才会发生。地下水的蒸发排泄包括土壤蒸发与植物蒸腾。当地下水埋藏较浅时,强烈的蒸发排泄可使土壤和地下水不断盐化。

3. 地下水径流

地下水由补给区流向排泄区的过程称为地下水的径流过程。该过程可使地下水不断地得到交替和更新。地下水径流方向的总趋势是由补给区流向排泄区;由高水位流向低水位。但其间由于受局部地形和含水层的非均一性影响,具体的方向路径往往很复杂,通常用地下水等水位线图等来分析确定。

3.3.4 我国的地下水资源及开发(The Ground Water Resource and Its Exploitation in China)

1. 我国的地下水资源及开发情况

地下水资源在我国水资源中占有举足轻重的地位,由于其分布广、水质好、不易被污染、调蓄能力强、供水保证程度高,正被越来越广泛地开发利用。尤其在中国北方、干旱半干旱地区的许多地区和城市,地下水成为重要的甚至唯一的水源。据计算我国可更新地下淡水资源总量为8700亿 m^3,占我国水资源总量的31%,其中地下淡水开采资源为2900亿 m^3。微咸水开采资源 $130\times10^8\ m^3/a$。平原区(含盆地)地下水储存量约23万亿 m^3,10米含水层中的地下水储存量相当于840mm,水层厚度,略大于全国平均降水量648mm,这个比例与世界地下水储存量的平均值相近似。中国北方地区(东北诸河、海河、淮河和山东半岛诸河、黄河、内陆诸河)地表水资源量相对贫乏,但平原地区地下水资源量有1468亿 m^3,占全国年地下水资源量的78%。根据补给、储存、开采等条件估算,中国北方全年平均可开采量约1000亿 m^3,在可供水量中占有重要地位。故形成北方地区大量开发地下水资源的格局。

目前,我国地下水开发利用主要是以孔隙水、岩溶水、裂隙水三类为主。其中,以孔隙水的分布最广,资源量最大,开发利用的最多,岩溶水在分布,数量开发均居其次;而裂隙水则最小。在以往调查的1243个水源地中,孔隙水类型的有846个占68%;岩溶水类型的有315处,占25%;而裂隙水类型的只有82处,仅占7%。

从目前的供水情况看,全国地下水的利用量占全国水资源利用总量的16%,其中地下水开发利用程度最高的是华北地区,其地下水供水量占全区总用水量的52%。预计在21世纪,我国淡水资源供需矛盾突出的地区仍是华北、西北、辽中南地区及部分沿海城市。

受我国水资源及人口分布、经济发达程度、开采条件等诸多因素的影响,相对于区域我国城市特别是北方城市地下水资源的供需矛盾尤为突出。目前全国有近400个城市开采地下水作为城市供水水源,300多个城市存在不同程度缺水,每年水资源缺口大约为1000万 m^3。据不完全统计,其中以地下水水源地作为主要供水水源的城市超过60个,如:石家庄、太原、呼和浩特、沈阳、济南、海口、西安、西

宁、银川、乌鲁木齐、拉萨等;以地下水与地表水联合供水的城市有北京、天津、大连、哈尔滨、南京、杭州、南昌、青岛、郑州、武汉、广州、成都、贵阳、昆明、兰州、长春、上海等。

目前城市地下水资源遭受污染的情况较为严重,据不完全统计全国已有136个大中城市地下水受到不同程度的污染,其中比较严重的有包头、长春、郑州、鞍山、太原、沈阳、哈尔滨、北京、西安、兰州、乌鲁木齐、上海、无锡、常州、杭州、合肥、武汉等城市。主要污染源均为工业和生活污染,局部农业区地下水也受到污染,主要分布在城近郊区的污灌区,目前有污水灌溉农田2000多万亩,直接污染了地下水,也有的还受到农药和化肥的污染。

2　地下水的城市开发利用分布特征

(1)地下水水资源分布及人均占有量呈现明显的地区性差异

南方地下水资源较为丰富,约占全国地下水资源总量的71%,而占全国国土面积60%的北方地区仅占到29%,尤其是约占全国1/3面积的西北地区,地下水天然资源和开采资源分别为$1100\times10^8\ m^3/a$和$300\times10^8\ m^3/a$,只占全国地下水天然资源量和开采资源量的13%,但地下水天然资源和开采资源却分别为$2600\times10^8\ m^3/a$和$800\times10^8\ m^3/a$,约占全国地下水天然资源和开采资源的30%。

此外,受各地人口、耕地和经济发达程度的不一,各地的人均、亩均地下水资源占有量有较大的差异。其中以华北片、东北片占有量最小,人均地下水天然资源量占有量分别为351 m^3和545 m^3,亩均地下水资源量分别为228 m^3和219 m^3。东南和中南片地下水占有量仅高于华北、东北片。地下水资源占有量最高的是西南和西北片,西南片的人均地下水资源占有量为全国平均水平的2倍,亩均地下水天然资源占有量为全国平均水平的2.7倍。人均、亩均地下水资源平均占有量的差异对各地经济发展有至关重要的制约作用。

(2)北方地区地下水开发利用程度较高

首先,地下水是北方地区的重要供水水源,在城市生活和工业用水中,地下水占80%～90%,农业用水中,地下水平均占38%左右,其中河北省占75%,山西和河南省都在50%以上。

其次,在城市供水结构上,北方地区地下水所占份额较大,如山东省城镇工业及生活用水中地下水供水比例高达95%,在河南省17个省辖市中有14个城市地下水的供水比例超过50%。

此外,北方地区的城市地下水开采强度也普遍处在一个较高的水平,华北地区地下水开采程度最高,河北省高达126%,北京109.38%,其他省(区、市)都在70%以上,大部分地区特别是大中城市处于超采或严重超采状态,山东省的淄博、烟台、潍坊等城市其地下水的实际开采量与允许开采量之比均已大于1,其中,呼

和浩特是以地下水为唯一供水水源的城市,该市开采总量为 18351 万 m^3/a,而该地区地下水可采资源量为 9478 万 m^3/a,开采量占可采量的 193.6%,区内已严重超采。

(3)南方地区地下水开采程度较低,开发利用的潜力较大

南方地区雨量充沛,地表水资源比较丰富,区内的大中城市多以地表水为主要供水水源或以地表水与地下水联合供水,除个别城市外,地下水供水密度较低,如长沙、岳阳、昆明、南宁等其地下水供水比例均在 20% 以下。同时,目前开发利用地下水资源的开发利用程度一般较低,地下水资源可采余量较大,有较大的开发利用潜力。如广西的南宁、玉林等城市,地下水的开采量仅占其可采量的 15% 左右。

(4)因地区间开采程度不平衡,引起局部超采的现象较为普遍

在许多地区和城市,虽然总体上地下水资源的开采量并未超过允许开采量,但由于地区间开采程度不平衡造成,导致局部开采强度分布不均,特别是城区及局部地段过量集中开采,开采强度过大,导致过量开采,形成地下水降落漏斗。例如,在北方地区虽然有 37 个地市处于严重超采,但仍有 1027.16 亿 m^3/a 的地下水可开采资源剩余量,尚有较大潜力可挖。而在城市中这种现象也极为普遍,如济宁地下水资源相对比较充沛,但在建城区水源地由于日开采 34.5 万 m^3/a,超过允许开采量 22 万 m^3/d,从而造成局部地区严重超采,产生地面沉降及水质污染问题。

(5)地下水使用中城市生活用水的比例呈上升趋势

目前城市地下水的使用主要包括为工业、农业及生活用水三个方面。以往工农业用水往往占据主要部分,但随着经济的发展,由于许多地表水饮用水源容易遭受外界不同程度的污染,城镇居民对饮用优质地下水的需求正在不断增长,使得城镇用水中生活用水的比例正逐步增大的趋势。如福建省福州市及浙江省的部分城市等都出现类似现象。

3. 城市地下水开发利用中存在的问题

(1)水资源的供需矛盾仍很突出

随着我国经济的迅速发展及人民生活水平的不断提高,工农业及生活用水需求量将逐年增加,这对我国特别是北方地区的大中城市本已十分严峻的水资源的供需形势带来更大的压力,如甘肃省天水市目前地下水可采量仅为 $8957\times10^4\ m^3/a$,而其城市发展规划预测城市总需水量达 $33154\times10^4\ m^3/a$,存在巨大的供需缺口,水资源已成为影响当地经济发展的一个主要制约因素。

(2)不合理的开采布局水资源的供需矛盾仍很突出

部分城市由于缺乏科学合理开采布局和调蓄,各地区开采程度很不平衡,使得有限的地下水资源无法得到充分有效的开发利用,造成有些地区严重超采,而有些地区则尚未合理开发。

(3)持续过量开采,降水漏斗不断扩大

地表水资源的严重匮乏,使得中国不得不开采地下水为生活和生产的水源。地下水是有限的资源,由于长期超量开采,从北方到南方,尤其是北方城市地区,地下水水位普遍下降,水量枯竭,面临着严重的地下水资源危机。

以华北地区为例,北京、天津等 27 座城市以地下水为城市主要供水源,地下水的开采已严重过量。目前,整个华北平原水资源的开发利用已高达 83.5%,而河北平原的巨大漏斗已经与北京、天津的降水漏斗连为一体,成为一个 23000 km^2 的超级大漏斗,目前地下水水位年均下降速率达 1～3m。

北京市 2/3 的用水是靠抽取地下水,每年开采地下水 26.27 亿 m^3,造成超采地下水 40 亿 m^3,地下已呈漏斗状。由于大规模超采地下水,到 20 世纪 60 年代末北京市城区和近郊已形成上千 km^2 的降水漏斗区。在过去的几十年中北京的地下水位几乎下降了 40m。在干旱的 1999 年夏季,个别城区甚至又下降了 3m 多。

从 20 世纪 50 年代起,天津人一刻不停地抽取地下水,造成地下水位持续下降,地面发生下沉,从 1959 年以来,累计下沉量达 2.5m,其中位于海河河口的塘沽,年下沉速度达 18.8cm,使本来坡度很小的河道受到海水及潮水更为强烈的顶托,海岸线缓缓向陆地推移。市区形成大面积漏斗区,水位埋深达 94.58m。市区地下漏斗最低水位已达 63m,地面沉降范围已扩大到 2308 km^2。

由于地表水严重污染,江南地区不得不开采地下水。仅在苏锡常地区就有开采地下水的深井 2800 余眼,从苏锡常到上海、嘉兴,形成了 8000 km^2 的地下水漏斗,地下水位年下降速率 1～3m,部分地区大于 3m,由此引发的地下水水质恶化正在威胁江南未来的水源地。超采地下水引起江南地区严重的地面沉降问题。苏锡常地区的地面因超采而普遍下沉 20～50cm,其中常州建国以来累计沉降超过 60cm 的地区有 43 km^2,无锡有 59.5 km^2,苏州达 180 km^2。上海是地面下沉最严重的地区之一,最大年沉降达到 11cm。

(4)地下水资源浪费严重

城市远近郊区农业生产过程中水资源浪费问题最为突出,北方地区每年灌溉用水约 1400 亿立方米,占总用水量的 80% 左右。多数地区保持传统的灌溉方式,灌溉定额居高不下,华北还有许多地区毛灌溉定额维持在 400～600 m^3/(亩·年),西北内陆盆地有的高达 700～1000 m^3/(亩·年),大水漫灌,有效利用率平均只有 30%～40%。我国工业用水量的浪费也很大,大部分城市工业用水重复利用率平均在 30%～40%,远低于发达国家 70% 以上的水平。

(5)地下水污染较为严重

随着经济的发展,农药、化肥、生活污水及工业“三废”的排放量日益增大,而这些污水大部分未经处理直接排入环境,构成了地下水的主要污染源。而过量开采造成地下水位的不断下降,客观上为废污水的加速入渗创造了有利条件。据不完

全统计,目前我国发现水质污染的地区及城市已有 136 座,其中污染较为严重的有包头、沈阳、兰州、西安等城市。

第四节 水 资 源
(Water Resource)

水资源是人类社会赖以生存、发展的最为宝贵的自然资源,它既是生活资料,又是生产资料,也是巨大的廉价能源。它已成为有重大经济价值的商品,受到政治、法律与社会的保护。

在广义上,水资源是指水圈中水量的总体。但是海洋水因含有较高的盐分,所以通常说的水资源是指能为人类直接利用的陆地上的淡水资源。

3.4.1 水资源的特性(Characteristics of Water Resource)

水资源是一项随时随地在循环、交换运动的动态资源。它有其独特的性质。只有充分认识它的特性,才能更有效地利用水资源。

1. 循环性和有限性

水能以气态、液态、固态等三种不同的形态存在,并在一定的条件下,水的三态又能互相转化,形成了自然界中的水循环。因此,水是可更新的资源,地表水和地下水被开发利用后,可以得到大气降水的补给。这样,水循环使得水资源具有蕴藏量的无限性。然而每年的补给量是有限的,为了保护自然环境和维持生态平衡,一般不宜动用地表、地下储存的静态水量,故多年平均利用量不能超过多年平均补给量。

2. 时空分布不均匀性

水是具有明显地区差异和时间分配不均的资源。这给水资源的开发利用带来了许多困难。为了满足各地区、各部门的用水要求,必须修建蓄水、引水、提水、调水工程,对天然水资源进行时空再分配。由于兴建各种水利工程要受自然、技术、经济条件的限制,因此只能控制利用水资源的一部分。由于排盐、排沙、排污以及生态平衡的需要,应保持一定的入海水量。故欲将一个流域的产水量用尽耗光,既不可能,也不应该。

3. 用途广泛性和不可代替性

水资源既是生活资料又是生产资料,在国计民生中的用途相当广泛,各行各业都需要水。同时,水是一切生物的命脉,它在维持生命和组成环境所需方面是不可代替的。然而,随着人口的增长,人民生活水平的提高以及工农业生产的发展,用

水量不断增加是必然趋势。因此水资源问题已成为当今世界普遍重视的社会性问题。

4. 经济上的两重性

由于降水和径流的地区分布和时间分配不均匀,往往会出现洪、涝、旱、碱等自然灾害。水资源开发利用不当,也会引起人为灾害。如垮坝事故、次生盐碱化、水质污染、环境恶化等。因此,水既能供开发利用造福人类,又能引起灾害,直接毁坏人民生命财产。这就决定了水资源在经济上的两重性,即既能增加收入,又能导致损失。因此应进行水资源的综合开发和合理利用,以达到兴利除害的双重目的。

3.4.2　我国的水资源状况(Water Resource in China)

1. 我国的水资源量

中国多年平均年降水总量约 6.19 万亿 m^3,平均年降水深为 648mm,低于全球和亚洲年降水深。全国降水量地区分布极不均匀,东南多,西北少,山区多于平原,降水量的分布趋势是由东南向西北递减。

全国多年平均年径流总量 2.8 万亿 m^3,约占全球年径流总量的 5.1%,仅次于巴西、加拿大、美国、印尼和前苏联,居世界第六。按人均占有径流量计算,中国每人每年平均约 2600 m^3,只相当于世界人均占有量的 1/4,美国人均的 1/5,印尼人均的 1/7,加拿大人均的 1/50。日本水资源只有中国的 1/6,但中国人均水量却只有日本的 3/4。耕地占有径流量也只有 26385 m^3/hm^2,低于世界平均水平。因此,就人均和单位耕地面积径流量而言,中国水资源并不富裕,属世界缺水国之一。

2. 我国水资源的特点

中国位于欧亚大陆东侧,东部和南部濒临海洋,大部分地区受到东南和西南季风影响,因而形成东南多雨、西北干旱的特点。在冬季,中国大陆受西伯利亚干冷气团控制,气候寒冷,雨雪较少;春暖以后,南方开始多雨,然后雨带逐渐北移,大部分地区降水集中于夏秋两季。西北内陆受山脉、高原的阻挡,季风难于深入,降水稀少,气候干燥,仅新疆西部和北部山区,受西来水汽影响,雨雪较多。同时,中国是一个有 13 亿人口的大国。受这些自然因素和社会因素的影响,中国水资源表现为以下特点。

(1)水资源总量不少,但人均和单位耕地占有量少

中国水资源总量居世界第六位,但人均占有量仅为世界人均水平的 1/4,单位耕地面积占有水资源量也只有世界平均水平的 3/4,属世界贫水国家之一。

(2)水资源地区分布不均

中国水资源南多北少,相差悬殊。南方地区的长江、珠江、东南沿海、西南诸流

域的年径流量占全国总量的 82％,而这些地区耕地只占全国的 38％。干旱少雨的淮河、黄河流域以及东北和西南地区,年径流量之和占全国不到 18％,但这些地区和耕地面积却占全国的 62％。全国有 45％的国土处在降水量少于 400mm 的干旱、少水地带。北方一些城市如北京、天津、大连等,工业及人民生活用水十分紧张。

中国降水量的地区分布形势大致是由东南向西北递减。

中国地下水资源同地表水一样分布也不平衡,南方地区为 1.68×10^5 m^3/km^2,北方地区为 4.5×10^4 m^3/km^2,两者相差 3.8 倍。

(3)水资源时间分布不均

中国水资源在时间分配上,年内分配集中,年际变化较大。全国大部分地区冬春少雨,多春旱;夏秋多雨,多洪涝。全年的降水量大部分集中在夏秋季湿润高温时期。南方地区受东南季风影响时间长,雨季一般长达半年之久,降水量多的月份一般在 3～6 月或 4～7 月,其雨量占全年降水量的 50％～60％。而华北及东北地区,多雨季节在 6～9 月,降水量占全年降水量的 70％～80％,而且夏秋降雨多以暴雨形式出现。每逢汛期,河水猛涨,滔滔江水一泻千里,注入海洋,使大量水资源白白流失。另外骤增的降水不能及时排泄,经常酿成洪涝灾害。

中国不少地区和流域降水量年际之间相差很大,有的地区高达十几倍、几十倍。中国主要江河都出现过连续丰、枯情况。纵观各江河丰、枯变化,既有大范围同时遭遇的机会(如 1928 年北方各河),也有局部地区性的旱涝。

(4)雨热同季

雨热同季是中国水资源的显著特点。水资源与热量的年内变化具有同步性,每年 3～5 月后,气温持续上升,雨季开始来临;9～10 月气温开始下降,降雨也逐渐减少。

3.4.3 水资源的开发利用现状(Exploitation and Utilization of Water Resource)

1. 全球水资源的开发利用

世界上可再生水资源总量为 41022 km^3,1995 年年用水量达到了 3240 km^3,占水资源总量的 8％,其中农业比例高达 69.0％,其次为工业 23.0％,生活用水仅占 8.0％,但发达地区(欧洲和北美洲)工业用水比例明显偏高。亚洲是水资源开发利用强度最大的地区,其次为北美洲和中美洲。

2. 我国水资源的开发利用现状

中国是世界上水资源开发利用程度较高的国家之一,至 1993 年全国已建成蓄水工程 309 万座,蓄水库容 4492 亿 m^3,其中兴利库容 2623 亿 m^3。修建了引水工

程 106.2 万项,提水工程 43.5 万处。地下水工程则主要分布在华北平原和东北平原,河北、河南及山东 3 个省的配套机电井均在 70 万眼以上。近年来还实施了跨流域调水工程,包括海河流域引黄系统、淮河流域引江系统及引黄系统、引滦入津以及引黄济青等工程。

中国供水系统的现状供水能力为 5640 亿 m^3,其中地表水工程供水量约为 4501 亿 m^3,占总供水量的 79.8%。地下水供水量约 824 亿 m^3,占总供水量的 14.6%。北方地区以引水及地下水为主,这两类供水能力占其总能力的 67%。南方地区地表水工程占主导地位,其供水能力已占其总供水能力的 88%。

据统计,1993 年全国农业、工业、城市生活用水以及其他用水总量为 5198 亿 m^3,约占全国多年平均水资源总量的 19%。其中农业用水 3817 亿 m^3,占总用水量的 73.4%;工业用水 906 亿 m^3,占 17.4%;城镇生活用水 237 亿 m^3,占总用水量的 4.6%。工农业用水为中国的主要用水部门。

3.4.4　我国水资源开发利用中存在的主要问题(Problems Existing in the Exploitation and Utilization of Water Resource in China)

上节介绍了我国地下水资源开发利用中存在的问题。事实上,类似的问题贯穿了我国的水资源开发利用进程。

1. 开发强度大,地区差异悬殊

中国水资源地区分布很不均匀,南方水多、人多、地少;北方地多、人多、水少。水土资源分配不平衡,形成了南方水有余,北方水紧张的局面。北方地区及西北地区水资源短缺,利用率通常在 30% 以上,最高达到 50%～60%。南方地区水资源利用率通常在 10% 左右,大量的水未被利用而直接入海。

2. 水资源浪费严重,资源效率低

中国工业用水浪费较为严重,每炼 1 吨钢需水约 25～100 m^3,发 100 度电耗水 1 m^3,造 1 吨纸耗水达 300 m^3,这些数字大致相当于先进国家的几倍至几十倍。

据 1993 年统计,中国工业用水重复利用率仅为 45%,而欧洲各国已达 70%～80%。日本 1970 年工业用水重复利用率为 52%,美国 1960 年为 51%,前苏联 1971 年为 54%。也就是说,中国目前工业用水利用率状况与发达国家 20 世纪 60～70 年代相当,落后于发达国家近 30 年。近年来水源紧张的大城市已注意提高用水重复利用率,但少数地区水重复利用率还不高。

中国农业用水浪费也十分惊人,直到现在,中国农业灌溉方式仍很落后,大部分农田采用原始的漫灌方法,每年每公顷灌溉用水量达 15000 多 m^3,超过需水量的一倍以上。中国城市地下供水管道漏失也较为严重,因为城市地下供水管道中

有相当一部分是 20 世纪 50 年代建成的,经多次修补仍在继续使用。据有关资料分析,供水管道的漏失率一般在 5 % ～10 % ,个别城市高达 15 % 。

3. 水资源调控能力弱,自然灾害频繁

水资源的自然分布的时间和空间不均衡以及人工调控能力弱,导致中国自然灾害频繁发生,出现了全国大范围的缺水问题。约有 70 % 以上的旱灾发生在松辽平原、黄淮海平原、黄土高原、四川盆地东部和北部、云贵高原至广东湛江一带。全国每年约有 0. 2 亿 hm^2 耕地经常受到干旱的威胁,成灾面积占一半左右,损失粮食 100 亿～130 亿 kg。洪涝灾害主要发生在黄河、海河、淮河、长江、珠江、松花江和辽河等七大江河的中下游平原地区,其中以华北平原和长江中下游平原最为严重。

建国以来,中国兴修了大量的水利工程,形成了 5640 亿 m^3 的供水能力。1980～1993 年全国供水年均增加 61 亿 m^3,年均增长率 1. 27 % ,但仍明显低于国际上其他国家同发展阶段指标。此外,大部分水利及供水工程是在五六十年代修建的,不少已老化失修处于超期使用和带病运行状态,而长期以来水价偏低,又导致工程维修费用不足,严重影响工程的正常工作。此外,泥沙淤积造成库容减少,水质污染迫使取水口迁移也严重影响了供水工程效益的发挥。

4. 盲目开发,损失了宝贵资源,带来了严重的生态后果

水资源的合理开发利用是一项非常严肃的科学问题,如何调度、如何协调上下游关系、如何协调工业、农业、生活以及维持生态平衡等关系,都需要在开发利用中妥善解决。中国在这方面有着足够的教训,例如 20 世纪 60～70 年代在全国范围内兴起的围湖造田热导致了很多地区植被破坏,水土流失,大量泥沙被河水带入湖泊水库之中,淤积湖底,造成许多天然湖泊逐渐由大变小,由小变无,严重地破坏了地表水资源。又如黄河上游干流和支流大量的引水工程导致的黄河断流以及类似的新疆塔里木河断流等,都是开发利用水资源的前车之鉴。

3. 4. 5 水资源管理(Water Resource Management)

水资源是人类赖以生存和发展的必要自然资源,水资源危机给人类的生存、人体健康、社会进步以及经济发展带来了严重影响。因此,合理开发利用和保护水资源具有非常重要的意义。防治水资源危机根本在于约束人类的开发活动,合理规划、有序开发、综合利用有限的水资源,防止水污染,依靠科技进步,提高人类利用水资源和抵御自然灾害的能力。水资源管理应遵循如下基本原则:

①水资源供应能力与其消耗相互协调。这要求在制订地区或城市的发展规划时,必须认真考虑本地区水资源的供应能力,建立不用水或少用水的经济发展模式,以便水资源可持续利用。

②努力节省水资源。通过对现有工艺的改革,既减少耗水量,也减少排污量,同时注重污水综合利用及再生后回用于工农业的研究与应用。大力推行清洁生产及废水资源化。

③严格执行对有毒有害物质及重金属必须厂内处理、达标排放的有关规定。

④按水域功能区实行总量控制,实行高功能水域高标准保护,低标准水域低标准保护;总量控制指标的分配要坚持公平原则,即各排污单位(企、事业)要合理负担污染负荷的削减任务。

⑤合理利用水体自净能力与人为措施相结合,即在不影响水域的使用功能的前提下,合理利用水环境的纳污能力,降低人工治理程度,节省污染的治理费用。

⑥加强管理。治理与管理,是环境保护的两大支柱,通过加强管理,制订合理可行的区域水质规划及水质目标;杜绝跑、冒、滴、漏和“偷排”、“乱排”等现象,实现文明生产,清洁生产。

⑦集中控制与重点源治理相结合,实行区域水环境综合整治。从整体出发,远近结合,统筹规划,分期实施。

参考文献

关伯仁.1997.环境科学基础教程.北京:中国环境科学出版社

刘南威.2000.自然地理学.北京:科学出版社

刘文祥,耿世刚等.2001.水资源危机.贵阳:贵州科技出版社

沈灿.1990.水资源导论.北京:高等教育出版社

袁弘任,吴国平等.2002.水资源保护及其立法.北京:中国水利水电出版社

第四章　水污染与水质管理

第一节　水污染物及其来源
(Water Pollutants and Their Source)

由于人类的生活或生产活动改变了天然水的物理、化学或生物学的性质和组成,影响人类对水的利用价值或危害人类健康,称为水污染。在自然情况下,天然水的水质也常有一定变化,但这种变化是一种自然现象,不算水污染。

水污染物的主要来源分为点污染源和面污染源。未经处理的生活污水和工业废水等常通过排水管道集中排出,称为点污染源。含有化肥、农药、除草剂、石油及其他污染物的农田排水和地表径流是分散地、成片地排入水体的,形成面污染源。此外,堆放在河边的工业废弃物和生活垃圾、水土流失以及矿山污水等也是水的污染源。

水污染物常见的污染途径如下:

①工业生产排放的污水。

②城市生活污水。

③农业上污染灌溉、喷洒农药、施用化肥,被雨冲刷随地表径流进入水体。

④固体废物中有害物质,经水溶解而流入水体。

⑤工业生产排放的烟尘废水,经直接降落或被雨水淋洗而流入水体。

⑥降雨和雨后的地表径流携带大气、土壤的城市地表的污染物进入水体。

⑦海水倒灌或渗透,污染沿海地区地下水源或水体。

⑧天然的污染源影响水体本底含量,例如,黄河中游河段有严重的砷污染,其原因是黄河含沙量的90%来自黄土高原,而且黄土高原中砷的本底很高,故造成该河段水体有严重砷污染。

常见的水质污染物有:

①病原微生物,如伤寒杆菌、痢疾杆菌、霍乱弧菌等,引起传染病的流行和传播。

②植物营养物,如氮、磷、钾等,引起水质营养化,故使水质恶化。

③无机盐,如酸、碱、盐等无机化合物进入水体,影响生活、生产和农业用水水质。

④各种油类物质,影响水的感官性状,阻碍水体复氧能力,破坏水的自净作用。

⑤有毒化学物质,主要是重金属和难分解有机物,如汞、镉、铅、铬、砷、硒、矾、铊等以及有机氯化物、芳香胺类和多环有机化合物等。

⑥放射性物质。

根据污染物及其形成污染的性质,可以将水污染分成物理性污染、化学性污染和生物性污染三类。

4.1.1　物理性污染(Physical Pollution)

(1)热污染

高温废水,如工业冷却水等排入水体后,使水体水温升高,物理性质发生变化,危害水生动、植物的繁殖与生长,称为水体的热污染。热污染造成的后果是:水中溶解氧含量下降,水体中的化学反应速率加快,微生物活动加强,细菌和藻类的繁殖加速以及某些有毒物质的毒性作用增加等。一般来说,排入水体的废水的温度超过 60℃,即被认为可能造成热污染。

(2)色度污染

城市污水,特别是有色工业废水,如印染、造纸、农药、焦化及有机化工废水进入水体后,使水体形成色度,引起人们感官不悦。由于色度加深,使水体的透光性减弱,影响水生生物的光合作用,抑制其生长繁殖,从而阻碍了水体的自净作用。

(3)固体悬浮物污染

各类废水均含有悬浮固体,固体物质包括悬浮固体与溶解固体。水体被悬浮固体污染后,外观受到影响,浊度增加、透光度减弱,妨碍水中植物的光合作用,对水生生物的生长不利。悬浮固体中的可沉降固体沉积于河底,造成底泥积累和腐化,使水体水质恶化。悬浮固体还可吸附凝聚重金属及有毒物质,随水流迁移污染。

(4)臭味污染

水体恶臭多属有机质在嫌气状态腐败发臭,其危害是使人憋气、恶心、水产品无法食用,水体失去旅游功能等。

(5)放射性污染

主要由原子能工业及应用放射性同位素的单位引起,对人体有重要影响的放射性物质有^{90}Sr、^{137}Cs 和^{131}I 等。

4.1.2　化学性污染(Chemical Pollution)

化学性污染按污染物的种类可分为无机物污染和有机物污染。

1. 无机物污染

(1)酸碱污染

矿山排水、黏胶纤维工业废水、钢铁厂酸洗废水及染料工业废水等常含有较多的酸。碱性废水则主要来自造纸、炼油、制革和制碱等工业。酸碱污染会使水体的pH发生变化,使水体不适于作饮用水源及其他工农业用水,抑制细菌和其他微生物的生长,影响水体的生物自净作用,腐蚀船舶,影响渔业发展,破坏生态平衡。

(2)无机盐污染

无机盐污染使水体硬度增加,如作为给水水源,水味涩口,甚至引起腹泻,危害人体健康。

(3)氮、磷污染

生活污水和某些工业废水中常含有一定数量的氮、磷等营养物质,农田径流中也常挟带大量残留的氮肥、磷肥。这类营养物质排入湖泊、水库、港湾、内海等水流缓慢的水体,会造成藻类大量繁殖,这种现象被称为"富营养化"。大量藻类的生长覆盖了大片水面,减少了鱼类的生存空间。藻类死亡腐败后会消耗溶解氧,并释放出更多的营养物质。如此周而复始,恶性循环,最终将导致水质恶化,鱼类死亡,水草丛生,湖泊衰亡。

(4)硫酸盐与硫化物污染

饮用水含少量硫酸盐对人体无影响,但超过250 mg/L后会引起腹泻。如果水体缺氧,则硫酸盐在反硫化菌的作用下产生反硫化反应。当水体pH低时,硫以硫化氢形式存在为主;当pH高时,以硫化物形式存在为主。硫化氢浓度达0.5 mg/L时即有异臭。硫化物会使水色变暗。

(5)氯化物污染

水体受氯化物污染后,无机盐含量往往也高,水味变咸,对金属管道与设备有腐蚀作用,且不宜作为灌溉用水。

(6)重金属污染

电镀工业、冶金工业和化学工业等排放的废水中往往含有各种重金属。重金属对人体健康及生态环境的危害极大,如汞、镉、铅、铬等。著名的水俣病就是由汞污染造成的,镉污染则会导致骨痛病。重金属排入天然水体中不可能减少或消失,却可能通过沉淀、吸附及食物链而不断富集,达到对生态环境及人体健康有害的浓度。

2. 有机物污染

(1)需氧性有机物污染

碳水化合物、蛋白质、脂肪和酚、醇等有机物可在微生物作用下进行分解,分解过程中消耗氧,称为需氧性有机物。生活污水和很多工业废水中都含有这类有机物。大量需氧性有机物排入水体,会引起微生物繁殖和溶解氧的消耗。当水体中溶解氧浓度降低到 4 mg/ L 以下时,鱼类和水生生物将不能在水中生存。溶解氧耗尽后,有机物厌氧发酵,生成大量的硫化氢、氨和硫醇等带恶臭的气体,使水变黑发臭,造成水环境严重恶化。需氧性有机物污染是水体污染中常见的一种类型。

(2)有机毒物污染

各种有机农药、有机染料及多环芳烃和芳香胺等,往往对人及生物体具有毒性。有些引起急性中毒,有些则导致慢性病,而有些已被证明是致癌、致畸、致突变物质。有机毒物主要来自焦化、染料、农药和塑料合成等工业废水,农田径流中也有残留的农药。这些有机物大都具有较大的分子和较复杂的结构,不易被微生物降解,在环境中不易除去。

(3)油脂类污染

水体受油脂类物质污染后,会呈现出五颜六色,感官性状极差。油脂浓度高时,水面上结成油膜,其厚度达到一定程度时能隔绝水面与大气接触,影响水生生物的生长与繁殖。油脂还会堵塞鱼鳃,造成窒息。当水体石油浓度达到 0. 01～0. 1 mg/ L 时,对水生生物形成致死毒性。

(4)表面活性剂污染

生活中大量使用的洗涤剂即为一类表面活性剂,又分为硬性和软性两种。地面水中的软性表面活性剂浓度应低于 0. 2～0. 3 mg/ L。

4. 1. 3　生物性污染(Biological Pollution)

生物性污染是指致病菌及病毒的污染。生活污水,尤其是医院污水,往往带有一些病原微生物,如伤寒、副伤寒、霍乱、细菌性痢疾的病原菌等。这些污水流入水体后,将对人类健康及生命安全造成威胁。病原菌污染的特点是数量多、分布广,存活时间长、繁殖速度快,应引起高度重视。

在实际的水环境中,上述各类污染往往互相联系、同时并存,在监测和治理时应予以综合考虑。

从 20 世纪 70 年代中期起,美国环保局(EPA)颁布了 65 类 129 种优先控制的有毒污染物,其中有毒有机物占 114 种,见表 4. 1。

中国环境监测总站根据国内有机化合物的污染特征,结合国外的文献资料,提出了反映中国环境特征的“水中优先控制污染物黑名单”,共 14 类 68 种,其中有毒有机物 58 种。1989 年 4 月由国家环保局通过,见表 4. 2。

表 4.2 中国水中优先控制污染物黑名单

类别	污染物	类别	污染物
1.(烷,烯)烃类	二氯甲烷	8. 多环芳烃	萘
	三氯甲烷		荧蒽
	四氯化碳		苯并(b)荧蒽
	1,2-二氯乙烷		苯并(k)荧蒽
	1,1,1-三氯乙烷		苯并(a)芘
2. 苯系物	1,1,2-三氯乙烷		茚并(1,2,3-c,d)芘
	1,1,2,2-四氯乙烷		苯并(ghi)芘
3. 氯代苯类	三氯乙烯	9. 酞酸酯类	酞酸二甲酯
	四氯乙烯		酞酸二丁酯
	三溴甲烷		酞酸二辛酯
4. 多氯联苯类	对-二甲苯	10. 农药	六六六
5. 酚类	氯苯		滴滴涕
	邻-二氯苯		敌敌畏
	对-二氯苯		乐果
	六氯苯		对硫磷
	多氯联苯(PCB)		甲基对硫磷
	苯酚		除草醚
6. 硝基苯类	间-甲酚		敌百虫
	2,4-二氯酚	11. 丙烯腈	丙烯腈
	2,4,6-三氯酚	12. 亚硝胺类	N-亚硝基二丙胺
	五氯酚		N-亚硝基二正丙胺
	对-硝基酚	13. 氰化物	氰化物
	硝基苯	14. 重金属及其化合物	砷及其化合物
7. 苯胺类	对-硝基甲苯		铍及其化合物
	2,4-二硝基甲苯		镉及其化合物
	三硝基甲苯		铬及其化合物
	对硝基氯苯		铜及其化合物
	2,4-二硝基氯苯		铅及其化合物
	苯胺		汞及其化合物
	二硝基苯胺		镍及其化合物
	对硝基苯胺		铊及其化合物
	2,6-二氯硝基苯胺		

第二节　水质指标与水质标准
(Water Quality Index and Water Quality Standard)

4.2.1　水质指标及其测量(Water Quality Index and the Measurement)

水质即水的品质,是指水与其中所含杂质共同表现出来的物理学、化学和生物学的综合特性。通常采用水质指标来衡量水质的好坏,是用来评价一般淡水水域,海水水域特性的重要参数。水质指标项目繁多,可以分为三大类。

第一类,物理性水质指标。包括:

感官物理性状指标,如温度、色度、嗅和味、浑浊度、透明度等。

其他物理性状指标,如总固体、悬浮固体、溶解固体、可沉固体、电导率(电阻率)等。

第二类,化学性水质指标。利用化学反应,生物化学反应及物理化学的原理测定的水质指标,总称为化学性水质指标。由于化学组成的复杂性,还常选择其中适当的化学特性进行检查或作定性、定量分析。化学性水质指标包括:

一般的化学性水质指标,如 pH、碱度、硬度、各种阳离子、各种阴离子、总含盐量、一般有机物质等。

有毒的化学性水质指标,如重金属、氰化物、多环芳烃、各种农药等。

有关氧平衡的水质指标,如溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD)、总需氧量(TOC)等。

此外,常用的水质指标还有总氮(TN)、总磷(TP)、石油类等等。

根据不同的分析方法可以把化学指标归纳如下:

①中和的方法,包括水体的碱性、酸度等。

②生成螯合物的方法,如 Ca^{2+}、Mg^{2+} 及硬度的方法。

③加热和氧化剂分解法,如 TOC、颗粒有机碳(POC)、总耗氧量(TOD)和 COD 等。

④生物化学反应的方法,如 BOD。

⑤氧化还原反应及沉淀法,如溶解氧等。

⑥电化学法,电导率、氧化-还原电位(pE)、pH、F^-、NH_4^+ 及金属离子。

⑦微量成分(分光光度法、原子吸收光谱法、气相液相色谱法、中子活化分析法及离子发射光谱法等),生物营养元素、各种化学形态的重金属离子及非金属微量元素、微量有机化合物、水体的污染物及放射性元素等。

第三类,生物学水质指标。由于水体是一个自然体系,其中必然存在着一个自然的生态系统,它包括动物的、植物的以及微生物的。因为这些物质的存在,从而影响水体中的物理指标和化学指标。生物指标通常指单位水体中生物数量,包括

细菌总数、总大肠菌群数、各种病原细菌、病毒等。其分析方法主要有显微计数、生物培养分析、菌落计数等。

下面对水污染治理工作中最常用的一些水质指标分别进行简要说明。

(1)温度

温度是最常用的物理指标之一。许多水的特性和过程都与温度有关,天然水的温度因水源的不同而异。地表水的温度与季节和气候较稳定,一般变化于 8～10℃左右,而海水的温度变化范围为 -2～30℃。

(2)嗅与味

人的感官分辨嗅和味,不可避免带有主观性,但目前对于嗅与味尚无客观标准和检测仪器。只有极清洁或已经消毒过的水才可用口尝试。由于水温对水的气味有很大影响,所以测定嗅与味常在 20℃和加热(40～50℃)两种情况下进行。一般以臭气浓度及臭气强度指标来度量水质的嗅觉属性。臭气浓度 TO = 200/ a,式中 a 为感觉致电臭气的最小水样量(mL)。在给水水源标准中,要求 TO 值低于 3～5。臭气强度指标数(PO)系指被测水样稀释到没有臭气为止时以百分率表示的稀释倍数,PO 与 TO 有以下关系:PO = TO/ lg2。

(3)颜色与色度

天然水经常表现出各种颜色,根据水的颜色可以推测水中杂质的数量和种类。色度则是对天然的或处理之后的各种用水进行水色测定的指标。目前世界各国统一用氯化铂酸钾(K_2PtCl_6)和氯化钴($CoCl_2 \cdot 6H_2O$)配制的溶液作为色度的标准。

(4)浑浊度与透明度

浑浊度是表示水中悬浮物的光学阻碍程度,浑浊度的光学阻碍程度不仅与该物质在水中的含量有关,还与颗粒大小形状和表面反射性能有关。因此各物质在不同存在状态所产生的浑浊度不同,浑浊度的标准单位是以不溶性硅在蒸馏水中所产生的光学阻碍作为测量的基础。并以 1L 蒸馏水中含有 1mgSiO_2所产生的浑浊度为 1 度。而透明度的意义则与浑浊度相反。它也表明水中杂质对透过光线的阻碍程度。若把某一白色或黑白相间的圆盘为观察对象,透过水层恰能看清圆盘的深度位置表示为透明度。

(5)pH

pH 反映水的酸碱性质,天然水体的 pH 一般在 6～9 之间,决定于水体所在环境的物理、化学和生物特性。饮用水的适宜 pH 应在 6.5～8.5 之间。生活污水一般呈弱碱性,而某些工业废水的 pH 偏离中性范围很远,它们的排放会对天然水体的酸碱特性产生较大的影响。大气中的污染物质如 SO_2、NO_x等也会影响水体的 pH。但由于水体中含有各种碳酸化合物,它们一般具有一定的缓冲能力。

弱酸性的污水和废水对混凝土管道有腐蚀作用。pH 还直接影响水生生物和细菌的生长活动。

(6)悬浮固体

悬浮固体可以利用重力或其他物理作用与水分离,它们随废水进入天然水体,则易形成河体沉积物。悬浮物的化学性质十分复杂,可能是无机物,也可能是有机物,还可能是有毒物质。悬浮物质在沉淀过程中还会挟带或吸附其他污染物质,如重金属等。

(7)放射性指标

放射性指标是指水体中存在的各种放射性物质所辐射的射线强度,例如α、β、γ射线强度等。

(8)COD 和 BOD

COD 和 BOD 都是表示水中有机物的含量的。由于有机物种类繁多,组成复杂,要分别测定其含量很困难。因此一般采用化学需氧量(COD)和生化需氧量(BOD)这两个间接的综合指标来衡量水中有机污染物的含量。对于有毒有机物,有时需要分别测定其含量以实现控制和治理。

生化需氧量(BOD)表示在有氧条件下,当温度为 20℃时,由于微生物尤其是细菌的活动,使可降解的有机物氧化达到稳定状态时所需要的氧量。BOD 以单位体积污水所消耗的氧量(mg/L)表示。BOD 越高,表示水中有机物含量越多。

由于温度对微生物的活动有很大影响,BOD 测定时规定了 20℃为标准温度。在有氧的情况下,废水中有机物的分解过程一般分两个阶段:第一阶段称为碳化阶段,主要是有机物转化为二氧化碳、水和氨;第二阶段称为硝化阶段,主要是氨再进一步氧化为亚硝酸盐和硝酸盐。因为氨已是无机物,BOD 一般只包括第一阶段即碳化的需氧量。

一般有机物在 20℃条件下需要 20 天才能完成第一阶段的氧化分解过程,20 天的生化需氧量可以 BOD_{20}表示。如此长的测定时间很难在实际工作中应用,目前世界各国均以 5 天作为测定 BOD 的标准时间,所测得的数值以 BOD_5表示,对一般有机物,BOD_5约为 BOD_{20}的 70%。

生化需氧量的测定条件与有机物进入天然水体后被微生物氧化分解的情况较相似,因此能够较准确地反映有机物对水质的影响。但测定生化需氧量需要很长时间,而且生化需氧量也不能反映微生物降解不了的有机物的量。

化学需氧量(COD)是指在一定条件下,水中各种有机物与外加的强氧化剂作用时所消耗的氧化剂量,以氧量(mg/L)计。常用的氧化剂是重铬酸钾,氧化反应在强酸性条件下加热回流进行 2h,有时还需加入催化剂。由于重铬酸钾的强氧化作用,水中绝大部分的有机物质(除苯,甲苯等芳香烃类化合物以外)均能被氧化,因此化学需氧量可以近似地反映水中有机物的总量。但废水中无机性还原物质也会消耗强氧化剂,使 COD 值增高。化学需氧量的测定需时较短,因此得到了广泛的应用。

4.2.2 水质标准(Water Quality Standard)

水质标准是环境标准的一种,是对于不同水体的水质指标做出的定量规范。我国的水质标准主要有以下几种。

1. 地表水环境质量标准

为贯彻《环境保护法》和《水污染防治法》,加强地表水环境管理,防治水环境污染,保障人体健康,国家环保总局于 2002 年 4 月 26 日批准《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)为国家环境质量标准。该标准为强制性标准,自 2002 年 6 月 1 日开始实施。标准分为以下几个部分:

前言
1 范围
2 引用标准
3 水域功能和标准分类
4 标准值
5 水质评价
6 水质监测
7 标准的实施与监督
表 1 地表水环境质量标准基本项目标准限值
表 2 集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值
表 3 集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值
表 4 地表水环境质量标准基本项目分析方法
表 5 集中式生活饮用水地表水源地补充项目分析方法
表 6 集中式生活饮用水地表水源地特定项目分析方法

标准的正文如下(表 4、表 5、表 6 的分析方法略):

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国水污染防治法》,防治水污染,保护地表水水质,保障人体健康,维护良好的生态系统,制定本标准。

本标准将标准项目分为:地表水环境质量标准基本项目、集中式生活饮用水地表水源地补充项目和集中式生活饮用水地表水源地特定项目。地表水环境质量标准基本项目适用于全国江河、湖泊、运河、渠道、水库等具有使用功能的地表水水域;集中式生活饮用水地表水源地补充项目和特定项目适用于集中式生活饮用水地表水源地一级保护区和二级保护区。集中式生活饮用水地表水源地特定项目由县级以上人民政府环境保护行政主管部门根据本地区地表水水质特点和环境管理的需要进行选择,集中式生活饮用水地表水源地补充项目和选择确定的特定项目作为基本项目的补充指标。

本标准项目共计 109 项,其中地表水环境质量标准基本项目 24 项,集中式生活饮用水地表水源地补充

项目 5 项,集中式生活饮用水地表水源地特定项目 80 项。

与 GHZB1-1999 相比,本标准在环境质量标准基本项目中增加总氮一项指标,删除了基本要求和亚硝酸盐、非离子氨和凯氏氮三项指标,将硫酸盐、氯化物、硝酸盐、铁、锰调整为集中式生活饮用水地表水源地补充项目,修订了 pH、溶解氧、氨氮、总磷、高锰酸盐指数、铅、粪大肠菌群 7 个项目的标准值,增加了集中式生活饮用水地表水源地特定项目 40 项。本标准删除了湖泊水库特定项目标准值。

县级以上人民政府环境保护行政主管部门及相关部门根据职责分工,按本标准对地表水各类水域进行监督管理。

与近海水域相连的地表水河口水域根据水环境功能按本标准相应类别标准值进行管理,近海水功能区水域根据使用功能按《海水水质标准》相应类别标准值进行管理。批准划定的单一渔业水域按《渔业水质标准》进行管理;处理后的城市污水及与城市污水水质相近的工业废水用于农田灌溉用水的水质按《农田灌溉水质标准》进行管理。

《地表水环境质量标准》(GB3838 - 83)为首次发布,1988 年为第一次修订,1999 年为第二次修订,本次为第三次修订。本标准自 2002 年 6 月 1 日起实施,《地面水环境质量标准》(GB3838-88)和《地面水环境质量标准》(GHZB1 - 1999)同时废止。

本标准由国家环境保护总局科技标准司提出并归口。

本标准由中国环境科学研究院负责修订。

本标准由国家环境保护总局 2002 年 4 月 26 日批准。

本标准由国家环境保护总局负责解释。

地表水环境质量标准

1　范围

1.1　本标准按照地表水环境功能分类和保护目标,规定了水环境质量应控制的项目及限值,以及水质评价、水质项目的分析方法和标准的实施与监督。

1.2　本标准适用于中华人民共和国领域内江河、湖泊、运河、渠道、水库等具有使用功能的地表水水域。具有特定功能的水域,执行相应的专业用水水质标准。

2　引用标准

《生活饮用水卫生规范》(卫生部,2001 年)和本标准表 4～表 6 所列分析方法标准及规范中所含条文在本标准中被引用即构成为本标准条文,与本标准同效。当上述标准和规范被修订时,应使用其最新版本。

3　水域功能和分类标准

依据地表水水域环境功能和保护目标,按功能高低依次划分为五类:

Ⅰ类　主要适用于源头水、国家自然保护区;

Ⅱ类　主要适用于集中式生活饮用水地表水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产场、仔稚幼鱼的索饵场等;

Ⅲ类　主要适用于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区;

Ⅳ类　主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区;

Ⅴ类　主要适用于农业用水区及一般景观要求水域。

对应地表水上述五类水域功能,将地表水环境质量标准基本项目标准值分为五类,不同功能类别分别执行相应类别的标准值。水域功能类别高的标准值严于水域功能类别低的标准值。同一水域兼有多类使用功能的,执行最高功能类别对应的标准值。实现水域功能与达到功能类别标准为同一含义。

4 标准值

4.1 地表水环境质量标准基本项目标准限值见表1。

4.2 集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值见表2。

4.3 集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值见表3。

5 水质评价

5.1 地表水环境质量评价应根据应实现的水域功能类别,选取相应类别标准,进行单因子评价,评价结果应说明水质达标情况,超标的应说明超标项目和超标倍数。

5.2 丰、平、枯水期特征明显的水域,应分水期进行水质评价。

5.3 集中式生活饮用水地表水源地水质评价的项目应包括表1中的基本项目、表2中的补充项目,以及由县级以上人民政府环境保护行政主管部门从表3中选择确定的特定项目。

表1 地表水环境质量标准基本项目标准限值 单位:mg/L

序号		Ⅰ类	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅴ类
1	水温(℃)	人为造成的环境水温变化应限制在:周平均最大温升≤1 周平均最大温降≤2				
2	pH(无量纲)	6～9				
3	溶解氧≥	饱和率90%(或7.5)	6	5	3	2
4	高锰酸盐指数≤	2	4	6	10	15
5	化学需氧量(COD)≤	15	15	20	30	40
6	五日生化需氧量(BOD_5)≤	3	3	4	6	10
7	氨氮(NH_3-N)≤	0.015	0.5	1.0	1.5	2.0
8	总磷(以P计)≤	0.02(湖、库0.01)	0.1(湖、库0.025)	0.2(湖、库0.05)	0.3(湖、库0.1)	0.4(湖、库0.2)
9	总氮(湖、库,以N计)≤	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0
10	铜≤	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0
11	锌≤	0.05	1.0	1.0	2.0	2.0
12	氟化物(以F^-计)≤	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5
13	硒≤	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
14	砷≤	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1
15	汞≤	0.00005	0.00005	0.0001	0.001	0.001
16	镉≤	0.001	0.005	0.005	0.005	0.01
17	铬(六价)≤	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
18	铅≤	0.01	0.01	0.05	0.05	0.1
19	氰化物≤	0.005	0.05	0.2	0.2	0.2
20	挥发酚≤	0.002	0.002	0.005	0.01	0.1
21	石油类≤	0.05	0.05	0.05	0.5	1.0
22	阴离子表面活性剂≤	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
23	硫化物≤	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0
24	粪大肠菌群(个/L)≤	200	2000	10000	20000	40000

表 2　集中式生活饮用水地表水源地补充项目标准限值　　单位: mg/ L

序　　号	项　　目	标　准　值
1	硫酸盐(以 SO_4^{2-} 计)	250
2	氯化物(以 Cl^- 计)	250
3	硝酸盐(以 N 计)	10
4	铁	0. 3
5	锰	0. 1

表 3　集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值　　单位: mg/ L

序号	项目	标准值	序号	项目	标准值
1	三甲烷	0. 06	21	乙苯	0. 3
2	四氯化碳	0. 002	22	二甲苯	0. 5
3	三溴甲烷	0. 1	23	异丙苯	0. 25
4	二氯甲烷	0. 02	24	氯苯	0. 3
5	1,2-二氯乙烷	0. 03	25	1,2-二氯苯	1. 0
6	环氧氯丙烷	0. 02	26	1,4-二氯苯	0. 3
7	氯乙烯	0. 005	27	三氯苯	0. 02
8	1,1-二氯乙烯	0. 03	28	四氯苯	0. 02
9	1,2-二氯乙烯	0. 05	29	六氯苯	0. 05
10	三氯乙烯	0. 07	30	硝基苯	0. 017
11	四氯乙烯	0. 04	31	二硝基苯	0. 5
12	氯丁二烯	0. 002	32	2,4-二硝基甲苯	0. 0003
13	六氯丁二烯	0. 0006	33	2,4,6-三硝基甲苯	0. 5
14	苯乙烯	0. 02	34	硝基氯苯	0. 05
15	甲醛	0. 9	35	2,4-二硝基氯苯	0. 5
16	乙醛	0. 05	36	2,4-二氯苯酚	0. 093
17	丙烯醛	0. 1	37	2,4,6-三氯苯酚	0. 2
18	三氯乙醛	0. 01	38	五氯酚	0. 009
19	苯	0. 01	39	苯胺	0. 1
20	甲苯	0. 7	40	联苯胺	0. 0002

6　水质监测

6. 1　本标准规定的项目标准值,要求水样采集后自然沉降 30 分钟,取上层非沉降部分按规定方法进行分析。

6. 2　地表水水质监测的采样布点、监测频率应符合国家地表水环境监测技术规范的要求。

6. 3　本标准水质项目的分析方法应优先选用表 4～表 6 规定的方法,也可采用 ISO 方法体系等其他等效分析方法,但须进行适用性检验。

7　标准的实施与监督

7. 1　本标准由县级以上人民政府环境保护行政主管部门及相关部门按职责分工监督实施。

7.2 集中式生活饮用水地表水源地水质超标项目经自来水厂净化处理后,必须达到《生活饮用水卫生规范》的要求。

7.3 省、自治区、直辖市人民政府可以对本标准中未作规定的项目,制定地方补充标准,并报国务院环境保护行政主管部门备案。

2 污水综合排放标准

污水综合排放标准是为了贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国水污染防治法》和《中华人民共和国海洋环境保护法》,控制水污染,保护江河、湖泊、运河、渠道、水库和海洋等地面水以及地下水水质的良好状态,保障人体健康,维护生态平衡,促进国民经济和城乡建设的发展而制定的,其正文如下:

污水综合排放标准

GB 8978-1996

代替 GB8978-88

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国水污染防治法》和《中华人民共和国海洋环境保护法》,控制水污染,保护江河、湖泊、运河、渠道、水库和海洋等地面水以及地下水水质的良好状态,保障人体健康,维护生态平衡,促进国民经济和城乡建设的发展,特制定本标准。

1 主题内容与适用范围

1.1 主题内容

本标准按照污水排放去向,分年限规定了69种水污染物最高允许排放浓度及部分行业最高允许排水量。

1.2 适用范围

本标准适用于现有单位水污染物的排放管理,以及建设项目的环境影响评价、建设项目环境保护设施设计、竣工验收及其投产后的排放管理。

按照国家综合排放标准与国家行业排放标准不交叉执行的原则,造纸工业执行《造纸工业水污染物排放标准(GB3544-92)》,船舶执行《船舶污染物排放标准(GB3552-83)》,船舶工业执行《船舶工业污染物排放标准(GB4286-84)》,海洋石油开发工业执行《海洋石油开发工业含油污水排放标准(GB4914-85)》,纺织染整工业执行《纺织染整工业水污染物排放标准(GB4287-92)》,肉类加工工业执行《肉类加工工业水污染物排放标准(GB13457-92)》,合成氨工业执行《合成氨工业水污染物排放标准(GB13458-92)》,钢铁工业执行《钢铁工业水污染物排放标准(GB13456-92)》,航天推进剂使用执行《航天推进剂水污染物排放标准(GB14374-93)》,兵器工业执行《兵器工业水污染物排放标准(GB14470.1～14470.3-93和GB4274～4279-84)》,磷肥工业执行《磷肥工业水污染物排放标准(GB15580-95)》,烧碱、聚氯乙烯工业执行《烧碱、聚氯乙烯工业水污染物排放标准(GB15581-95)》,其他水污染物排放均执行本标准。

1.3 本标准颁布后,新增加国家行业水污染物排放标准的行业,按其适用范围执行相应的国家水污染物行业标准,不再执行本标准。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。

GB3097-82 海水水质标准

GB3838-88 地面水环境质量标准

GB8703-88 辐射防护规定

3　定义

3.1　污水:指在生产与生活活动中排放的水的总称。

3.2　排水量:指在生产过程中直接用于工艺生产的水的排放量。不包括间接冷却水、厂区锅炉、电站排水。

3.3　一切排污单位:指本标准适用范围所包括的一切排污单位。

3.4　其他排污单位:指在某一控制项目中,除所列行业外的一切排污单位。

4　技术内容

4.1　标准分级

4.1.1　排入 GB3838Ⅲ类水域(划定的保护区和游泳区除外)和排入 GB3097 中二类海域的污水,执行一级标准。

4.1.2　排入 GB 3838 中Ⅳ、Ⅴ类水域和排入 GB3097 中三类海域的污水,执行二级标准。

4.1.3　排入设置二级污水处理厂的城镇排水系统的污水,执行三级标准。

4.1.4　排入未设置二级污水处理厂的城镇排水系统的污水,必须根据排水系统出水受纳水域的功能要求,分别执行 4.1.1 和 4.1.2 的规定。

4.1.5　GB3838 中Ⅰ、Ⅱ类水域和Ⅲ类水域中划定的保护区,GB3097 中一类海域,禁止新建排污口,现有排污口应按水体功能要求,实行污染物总量控制,以保证受纳水体水质符合规定用途的水质标准。

4.2　标准值

4.2.1　本标准将排放的污染物按其性质及控制方式分为二类。

4.2.1.1　第一类污染物,不分行业和污水排放方式,也不分受纳水体的功能类别,一律在车间或车间处理设施排放口采样,其最高允许排放浓度必须达到本标准要求(采矿行业的尾矿坝出水口不得视为车间排放口)。

4.2.1.2　第二类污染物,在排污单位排放口采样,其最高允许排放浓度必须达到本标准要求。

4.2.2　本标准按年限规定了第一类污染物和第二类污染物最高允许排放浓度及部分行业最高允许排水量,分别为:

4.2.2.1　1997 年 12 月 31 日之前建设(包括改、扩建)的单位,水污染物的排放必须同时执行表 1、表 2、表 3 的规定。

4.2.2.2　1998 年 1 月 1 日起建设(包括改、扩建)的单位,水污染物的排放必须同时执行表 1、表 4、表 5 的规定。

表 1　第一类污染物最高允许排放浓度　　单位:mg/L

序号	污染物	最高允许排放浓度
1	总汞	0.05
2	烷基汞	不得检出
3	总镉	0.1
4	总铬	1.5
5	六价铬	0.5
6	总砷	0.5
7	总铅	1.0
8	总镍	1.0
9	苯并(a)芘	0.00003

续表

序号	污染物	最高允许排放浓度
10	总铍	0.005
11	总银	0.5
12	总α放射性	1Bq/L
13	总β放射性	10Bq/L

表2 第二类污染物最高允许排放浓度

(1997年12月31日之前建设的单位) 单位:mg/L

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
1	pH	一切排污单位	6～9	6～9	6～9
2	色度(稀释倍数)	染料工业	50	180	—
		其他排污单位	50	80	—
3	悬浮物(SS)	采矿、选矿、选煤工业	100	300	—
		脉金选矿	100	500	—
		边远地区沙金选矿	100	800	—
		城镇二级污水处理厂	20	30	—
		其他排污单位	70	200	400
4	五日生化需氧量(BOD_5)	甘蔗制糖、苎麻脱胶、湿法纤维板工业	30	100	600
		甜菜制糖、酒精、味精、皮革、化纤浆粕工业	30	150	600
		城镇二级污水处理厂	20	30	—
		其他排污单位	30	60	300
5	化学需氧量(COD)	甜菜制糖、焦化、合成脂肪酸、湿法纤维板、染料、洗毛、有机磷农药工业	100	200	1000
		味精、酒精、医药原料药、生物制药、苎麻脱胶、皮革、化纤浆粕工业	100	300	1000
		石油化工工业(包括石油炼制)	100	150	500
		城镇二级污水处理厂	60	120	—
		其他排污单位	100	150	500
6	石油类	一切排污单位	10	10	30
7	动植物油	一切排污单位	20	20	100
8	挥发酚	一切排污单位	0.5	0.5	2.0

续表

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
9	总氰化合物	电影洗片(铁氰化合物)	0.5	5.0	5.0
		其他排污单位	0.5	0.5	1.0
10	硫化物	一切排污单位	1.0	1.0	2.0
11	氨氮	医药原料药、染料、石油化工工业	15	50	—
		其他排污单位	15	25	—
12	氟化物	黄磷工业	10	20	20
		低氟地区(水体含氟量<0.5mg/L)	10	20	30
		其他排污单位	10	10	20
13	磷酸盐(以P计)	一切排污单位	0.5	1.0	—
14	甲醛	一切排污单位	1.0	2.0	5.0
15	苯胺类	一切排污单位	1.0	2.0	5.0
16	硝基苯类	一切排污单位	2.0	3.0	5.0
17	阴离子表面活性剂(LAS)	合成洗涤剂工业	5.0	15	20
		其他排污单位	5.0	10	20
18	总铜	一切排污单位	0.5	1.0	2.0
19	总锌	一切排污单位	2.0	5.0	5.0
20	总锰	合成脂肪酸工业	2.0	5.0	5.0
		其他排污单位	2.0	2.0	5.0
21	彩色显影剂	电影洗片	2.0	3.0	5.0
22	显影剂及氧化物总量	电影洗片	3.0	6.0	6.0
23	元素磷	一切排污单位	0.1	0.3	0.3
24	有机磷农药(以P计)	一切排污单位	不得检出	0.5	0.5
25	粪大肠菌群数	医院*、兽医院及医疗机构含病原体污水	500个/L	1000个/L	5000个/L
		传染病、结核病医院污水	100个/L	500个/L	1000个/L
26	总余氯(采用氯化消毒的医院污水)	医院*、兽医院及医疗机构含病原体污水	<0.5**	>3(接触时间≥1h)	>2(接触时间≥1h)
		传染病、结核病医院污水	<0.5**	>6.5(接触时间≥1.5h)	>5(接触时间≥1.5h)

* 指50个床位以上的医院。

* * 加氯消毒后须进行脱氯处理,达到本标准。

表 3 部分行业最高允许排水量

(1997 年 12 月 31 日之前建设的单位)

序号	行业类别			最高允许排水量或最低允许水重复利用率
1	矿山工业	有色金属系统选矿		水重复利用率 75 %
		其他矿山工业采矿、选矿、选煤等		水重复利用率 90 % (选煤)
		脉金选矿	重选	16.0 m^3/t(矿石)
			浮选	9.0 m^3/t(矿石)
			氰化	8.0 m^3/t(矿石)
			碳浆	8.0 m^3/t(矿石)
2	焦化企业(煤气厂)			1.2 m^3/t(焦炭)
3	有色金属冶炼及金属加工			水重复利用率 80 %
4	石油炼制工业(不包括直排水炼油厂) 加工深度分类: A. 燃料型炼油 B. 燃料 + 润滑油型炼油厂 C. 燃料 + 润滑油型 + 炼油化工型炼油厂 (包括加工高含硫原油页岩油和石油添加剂生产基地的炼油厂)			A > 500 万 t,1.0 m^3/t(原油) 250～500 万 t,1.2 m^3/t(原油) < 250 万 t,1.5 m^3/t(原油)
				B > 500 万 t,1.5 m^3/t(原油) 250～500 万 t,2.0 m^3/t(原油) < 250 万 t,2.0 m^3/t(原油)
				C > 500 万 t,2.0 m^3/t(原油) 250～500 万 t,2.5 m^3/t(原油) < 250 万 t,2.5 m^3/t(原油)
5	合成洗涤剂工业	氯化法生产烷基苯		200.0 m^3/t(烷基苯)
		裂解法生产烷基苯		70.0 m^3/t(烷基苯)
		烷基苯生产合成洗涤剂		10.0 m^3/t(产品)
6	合成脂肪酸工业			200.0 m^3/t(产品)
7	湿法生产纤维板工业			30.0 m^3/t(板)
8	制糖工业	甘蔗制糖		10.0 m^3/t(甘蔗)
		甜菜制糖		4.0 m^3/t(甜菜)
9	皮革工业	猪盐湿皮		60.0 m^3/t(原皮)
		牛干皮		100.0 m^3/t(原皮)
		羊干皮		150.0 m^3/t(原皮)
10	发酵酿造工业	酒精工业	以玉米为原料	150.0 m^3/t(酒精)
			以薯类为原料	100 m^3/t(酒精)
			以糖蜜为原料	80.0 m^3/t(酒精)
		味精工业		600.0 m^3/t(味精)
		啤酒工业(排水量不包括麦芽水部分)		16.0 m^3/t(啤酒)

续表

序号	行业类别		最高允许排水量或最低允许水重复利用率
11	铬盐工业		5.0m³/t(产品)
12	硫酸工业(水洗法)		15.0m³/t(硫酸)
13	苎麻脱胶工业		500m³/t(原麻)或750m³/t(精干麻)
14	化纤浆粕		本色：150m³/t(浆)漂白：240m³/t(浆)
15	黏胶纤维工业(单纯纤维)	短纤维(棉型中长纤维、毛型中长纤维)	300m³/t(纤维)
		长纤维	800m³/t(纤维)
16	铁路货车洗刷		5.0m³/辆
17	电影洗片		5m³/1000m(35mm的胶片)
18	石油沥青工业		冷却池的水循环利用率95%

表4　第二类污染物最高允许排放浓度

(1998年1月1日后建设的单位)　　单位：mg/L

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
1	pH	一切排污单位	6～9	6～9	6～9
2	色度(稀释倍数)	一切排污单位	50	80	—
3	悬浮物(SS)	采矿、选矿、选煤工业	70	300	—
		脉金选矿	70	400	—
		边远地区沙金选矿	70	800	—
		城镇二级污水处理厂	20	30	—
		其他排污单位	70	150	400
4	五日生化需氧量(BOD_5)	甘蔗制糖、苎麻脱胶、湿法纤维板、染料、洗毛工业	20	60	600
		甜菜制糖、酒精、味精、皮革、化纤浆粕工业	20	100	600
		城镇二级污水处理厂	20	30	—
		其他排污单位	20	30	300

续表

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
5	化学需氧量(COD)	甜菜制糖、合成脂肪酸、湿法纤维板、染料、洗毛、有机磷农药工业	100	200	1000
		味精、酒精、医药原料药、生物制药、苎麻脱胶、皮革、化纤浆粕工业	100	300	1000
		石油化工工业(包括石油炼制)	60	120	—
		城镇二级污水处理厂	60	120	500
		其他排污单位	100	150	500
6	石油类	一切排污单位	5	10	20
7	动植物油	一切排污单位	10	15	100
8	挥发酚	一切排污单位	0.5	0.5	2.0
9	总氰化合物	一切排污单位	0.5	0.5	1.0
10	硫化物	一切排污单位	1.0	1.0	1.0
11	氨氮	医药原料药、染料、石油化工工业	15	50	—
		其他排污单位	15	25	—
12	氟化物	黄磷工业	10	15	20
		低氟地区(水体含氟量 < 0.5 mg/L)	10	20	30
		其他排污单位	10	10	20
13	磷酸盐(以 P 计)	一切排污单位	0.5	1.0	-
14	甲醛	一切排污单位	1.0	2.0	5.0
15	苯胺类	一切排污单位	1.0	2.0	5.0
16	硝基苯类	一切排污单位	2.0	3.0	5.0
17	阴离子表面活性剂(LAS)	一切排污单位	5.0	10	20
18	总铜	一切排污单位	0.5	1.0	2.0
19	总锌	一切排污单位	2.0	5.0	5.0
20	总锰	合成脂肪酸工业	2.0	5.0	5.0
		其他排污单位	2.0	2.0	5.0
21	彩色显影剂	电影洗片	1.0	2.0	3.0
22	显影剂及氧化物总量	电影洗片	3.0	3.0	6.0
23	元素磷	一切排污单位	0.1	0.1	0.3

续表

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
24	有机磷农药(以 P 计)	一切排污单位	不得检出	0.5	0.5
25	乐果	一切排污单位	不得检出	1.0	2.0
26	对硫磷	一切排污单位	不得检出	1.0	2.0
27	甲基对硫磷	一切排污单位	不得检出	1.0	2.0
28	马拉硫磷	一切排污单位	不得检出	5.0	10
29	五氯酚及五氯酚钠(以五氯酚计)	一切排污单位	5.0	8.0	10
30	可吸附有机卤化物(AOX)(以 Cl 计)	一切排污单位	1.0	5.0	8.0
31	三氯甲烷	一切排污单位	0.3	0.6	1.0
32	四氯化碳	一切排污单位	0.03	0.06	0.5
33	三氯乙烯	一切排污单位	0.3	0.6	1.0
34	四氯乙烯	一切排污单位	0.1	0.2	0.5
35	苯	一切排污单位	0.1	0.2	0.5
36	甲苯	一切排污单位	0.1	0.2	0.5
37	乙苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
38	邻-二甲苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
39	对-二甲苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
40	间-二甲苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
41	氯苯	一切排污单位	0.2	0.4	1.0
42	邻-二氯苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
43	对-二氯苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
44	对-硝基氯苯	一切排污单位	0.5	1.0	5.0
45	2,4-二硝基氯苯	一切排污单位	0.5	1.0	5.0
46	苯酚	一切排污单位	0.3	0.4	1.0
47	间-甲酚	一切排污单位	0.1	0.2	0.5
48	2,4-二氯酚	一切排污单位	0.6	0.8	1.0

续表

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
49	2,4,6 -三氯酚	一切排污单位	0.6	0.8	1.0
50	邻苯二甲酸二丁酯	一切排污单位	0.2	0.4	2.0
51	邻苯二甲酸二辛脂	一切排污单位	0.3	0.6	2.0
52	丙烯腈	一切排污单位	2.0	5.0	5.0
53	总硒	一切排污单位	0.1	0.2	0.5
54	粪大肠菌群数	医院*、兽医院及医疗机构含病原体污水	500 个/ L	1000 个/ L	5000 个/ L
		传染病、结核病医院污水	100 个/ L	500 个/ L	1000 个/ L
55	总余氯(采用氯化消毒的医院污水)	医院*、兽医院及医疗机构含病原体污水	< 0.5**	> 3(接触时间 ≥1h)	> 2(接触时间≥1h)
		传染病、结核病医院污水	< 0.5**	> 6.5(接触时间≥1.5h)	> 5(接触时间≥1.5h)
56	总有机碳(TOC)	合成脂肪酸工业	20	40	—
		苎麻脱胶工业	20	60	—
		其他排污单位	20	30	—

其他排污单位:指除在该控制项目中所列行业以外的一切排污单位。

* 指 50 个床位以上的医院。

* * 加氯消毒后须进行脱氯处理,达到本标准。

表 5 部分行业最高允许排水量*

(1998 年 1 月 1 日后建设的单位)

序号	行业类别			最高允许排水量或最低允许排水重复利用率
1	矿山工业	有色金属系统选矿		水重复利用率 75%
		其他矿山工业采矿、选矿、选煤等		水重复利用率 90% (选煤)
		脉金选矿	重选	16.0 m^3/ t(矿石)
			浮选	9.0 m^3/ t(矿石)
			氰化	8.0 m^3/ t(矿石)
			碳浆	8.0 m^3/ t(矿石)
2	焦化企业(煤气厂)			1.2 m^3/ t(焦炭)
3	有色金属冶炼及金属加工			水重复利用率 80%

续表

序号	行业类别			最高允许排水量或最低允许排水重复利用率	
4	石油炼制工业(不包括直排水炼油厂) 加工深度分类: A. 燃料型炼油厂 B. 燃料+润滑油型炼油厂 C. 燃料+润滑油型+炼油化工型炼油厂 (包括加工高含硫原油页岩油和石油添加剂生产基地的炼油厂)			A	>500万t,1.0m³/t(原油) 250～500万t,1.2m³/t(原油) <250万t,1.5m³/t(原油)
				B	>500万t,1.5m³/t(原油) 250～500万t,2.0m³/t(原油) <250万t,2.0m³/t(原油)
				C	>500万t,2.0m³/t(原油) 250～500万t,2 5 m³/t(原油) <250万t,2.5m³/t(原油)
5	合成洗涤剂工业	氯化法生产烷基苯		200.0 m³/t(烷基苯)	
		裂解法生产烷基苯		70.0 m³/t(烷基苯)	
		烷基苯生产合成洗涤剂		10.0 m³/t(产品)	
6	合成脂肪酸工业			200.0m³/t(产品)	
7	湿法生产纤维板工业			30.0 m³/t(板)	
8	制糖工业	甘蔗制糖		10.0 m³/t	
		甜菜制糖		4.0 m³/t	
9	皮革工业	猪盐湿皮		60.0 m³/t	
		牛干皮		100.0 m³/t	
		羊干皮		150.0 m³/t	
10	发酵、酿造工业	酒精工业	以玉米为原料	100.0 m³/t	
			以薯类为原料	80.0 m³/t	
			以糖蜜为原料	70.0 m³/t	
		味精工业		600.0 m³/t	
		啤酒行业(排水量不包括麦芽水部分)		16.0 m³/t	
11	铬盐工业			5.0 m³/t(产品)	
12	硫酸工业(水洗法)			15.0 m³/t(硫酸)	
13	苎麻脱胶工业			500 m³/t(原麻)	
				750 m³/t(精干麻)	
14	黏胶纤维工业单纯纤维	短纤维(棉型中长纤维、毛型中长纤维)		300.0 m³/t(纤维)	
		长纤维		800.0 m³/t(纤维)	
15	化纤浆粕			本色:150 m³/t(浆);漂白:240 m³/t(浆)	

续表

序号	行业类别		最高允许排水量或 最低允许排水重复利用率
16	制药工业医药原料药	青霉素	4700 m^3/ t(氰霉素)
		链霉素	1450 m^3/ t(链霉素)
		土霉素	1300 m^3/ t(土霉素)
		四环素	1900 m^3/ t(四环素)
		洁霉素	9200 m^3/ t(洁霉素)
		金霉素	3000 m^3/ t(金霉素)
		庆大霉素	20400 m^3/ t(庆大霉素)
		维生素 C	1200 m^3/ t(维生素 C)
		氯霉素	2700 m^3/ t(氯霉素)
		新诺明	2000 m^3/ t(新诺明)
		维生素 B1	3400 m^3/ t(维生素 B1)
		安乃近	180 m^3/ t(安乃近)
		非那西汀	750 m^3/ t(非那西汀)
		呋喃唑酮	2400 m^3/ t(呋喃唑酮)
		咖啡因	1200 m^3/ t(咖啡因)
17	有机磷农药工业	乐果**	700 m^3/ t(产品)
		甲基对硫磷(水相法)**	300 m^3/ t(产品)
		对硫磷(P_2S_5 法)**	500 m^3/ t(产品)
		对硫磷($PSCl_3$ 法)**	550 m^3/ t(产品)
		敌敌畏(敌百虫碱解法)	200 m^3/ t(产品)
		敌百虫	40 m^3/ t(产品) (不包括三氯乙醛生产废水)
		马拉硫磷	700 m^3/ t(产品)
18	除草剂工业	除草醚	5 m^3/ t(产品)
		五氯酚钠	2 m^3/ t(产品)
		五氯酚	4 m^3/ t(产品)
		2-甲-4-氯	14 m^3/ t(产品)
		2,4-D	4 m^3/ t(产品)
		丁草胺	4.5 m^3/ t(产品)
		绿麦隆(以 Fe 粉还原)	2 m^3/ t(产品)
		绿麦隆(以 Na_2S 还原)	3 m^3/ t(产品)

续表

序号	行业类别	最高允许排水量或 最低允许排水重复利用率
19	火力发电工业	3.5 m^3(MW·h)
20	铁路货车洗刷	5.0 m^3/辆
21	电影洗片	5 m^3/1000 m(35mm 胶片)
22	石油沥青工业	冷却池的水循环利用率 95%

* 产品按 100% 浓度计。

* * 不包括 P_2S_5、$PSCl_3$、PCl_3 原料生产废水。

4.2.2.3　建设(包括改、扩建)单位的建设时间,以环境影响评价报告书(表)批准日期为准划分。

4.3　其他规定

4.3.1　同一排放口排放两种或两种以上不同类别的污水,且每种污水的排放标准又不同时,其混合污水的排放标准按附录 A 计算。

4.3.2　工业污水污染物的最高允许排放负荷量按附录 B 计算。

4.3.3　污染物最高允许年排放总量按附录 C 计算。

4.3.4　对于排放含有放射性物质的污水,除执行本标准外,还须符合 GB8703-88《辐射防护规定》。

5　监测

5.1　采样点

采样点应按 4.2.1.1 及 4.2.1.2 第一、二类污染物排放口的规定设置,在排放口必须设置排放口标志、污水水量计量装置和污水比例采样装置。

5.2　采样频率

工业污水按生产周期确定监测频率。生产周期在 8h 以内的,每 2h 采样一次;生产周期大于 8h 的,每 4h 采样一次。其他污水采样,24h 不少于 2 次。最高允许排放浓度按日均值计算。

5.3　排水量

以最高允许排水量或最低允许水重复利用率来控制,均以月均值计。

5.4　统计

企业的原材料使用量、产品产量等,以法定月报表或年报表为准。

5.5　测定方法

本标准采用的测定方法见表 6。

表 6　测定方法

序号	项目	测定方法	方法来源
1	总汞	冷原子吸收光度法	GB7468-87
2	烷基汞	气相色谱法	GB/T 14204-93
3	总镉	原子吸收分光光度法	GB 7475-87
4	总铬	高锰酸钾氧化-二苯碳酰二肼分光光度法	GB 7466-87
5	六价铬	二苯碳酰二肼分光光度法	GB 7467-87
6	总砷	二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法	GB 7485-87

续表

序号	项目	测定方法	方法来源
7	总铅	原子吸收分光光度法	GB 7475-87
8	总镍	火焰原子吸收分光光度法	GB 11912-89
		苯二酮肟分光光度法	GB 19910-89
9	苯并(a)芘	乙酰化滤纸层析荧光分光光度法	GB 11895-89
10	总铍	活性炭吸附-铬天菁 S 光度法	1)
11	总银	火焰原子吸收分光光度法	GB 11907-89
12	总α	物理法	2)
13	总β	物理法	2)
14	pH	玻璃电极法	GB 6920-86
15	色度	稀释倍数法	GB 11903-89
16	悬浮物	质量法	GB 11901-89
17	生化需氧量(BOD_5)	稀释与接种法	GB 7488-87
		重铬酸钾紫外光度法	待颁布
18	化学需氧量(COD)	重铬酸钾法	GB 11914-89
19	石油类	红外光度法	GB/T16488-1996
20	动植物油	红外光度法	GB/T16488-1996
21	挥发酚	蒸馏后用 4-氨基安替比林分光光度法	GB 7490-87
22	总氰化物	硝酸银滴定法	GB 7486-87
23	硫化物	亚甲基蓝分光光度法	GB/T 16489-1996
24	氨氮	钠氏试剂比色法	GB 7478-87
		蒸馏和滴定法	GB 7479-87
25	氟化物	离子选择电极法	GB7484-87
26	磷酸盐	钼蓝比色法	1)
27	甲醛	乙酰丙酮分光光度法	GB 13197-91
28	苯胺类	N-(1-萘基)乙二胺偶氮分光光度法	GB11889-89
29	硝基苯类	还原-偶氮比色法或分光光度法	1)
30	阴离子表面活性剂	亚甲蓝分光光度法	GB 17494-87
31	总铜	原子吸收分光光度法	GB7475-87
		二乙基二硫化氨基甲酸钠分光光度法	GB7474-87
32	总锌	原子吸收分光光度法	GB7475-87
		双硫腙分光光度法	GB7472-87

续表

序号	项目	测定方法	方法来源
33	总锰	火焰原子吸收分光光度法	GB11911-89
		高碘酸钾分光光度法	GB11906-89
34	彩色显影剂	169 成色剂法	3)
35	显影剂及氧化物总量	碘-淀粉比色法	3)
36	元素磷	磷钼蓝比色法	3)
37	有机磷农药(以 P 计)	有机磷农药的测定	GB13192-91
38	乐果	气相色谱法	GB13192-91
39	对硫磷	气相色谱法	GB13192-91
40	甲基对硫磷	气相色谱法	GB13192-91
41	马拉硫磷	气相色谱法	GB13192-91
42	五氯酚及五氯酚钠(以五氯酚计)	气相色谱法	GB8972-88
		藏红 T 分光光度法	GB9803-88
43	可吸附有机卤化物(AOX)(以 Cl 计)	微库仑法	GB/T 15959-95
44	三氯甲烷	气相色谱法	待颁布
45	四氯化碳	气相色谱法	待颁布
46	三氯乙烯	气相色谱法	待颁布
47	四氯乙烯	气相色谱法	待颁布
48	苯	气相色谱法	GB11890-89
49	甲苯	气相色谱法	GB11890-89
50	乙苯	气相色谱法	GB11890-89
51	邻-二甲苯	气相色谱法	GB11890-89
52	对-二甲苯	气相色谱法	GB 11890-89
53	间-二甲苯	气相色谱法	GB 11890-89
54	氯苯	气相色谱法	待颁布
55	邻-二氯苯	气相色谱法	待颁布
56	对-二氯苯	气相色谱法	待颁布
57	对-硝基氯苯	气相色谱法	GB13194-91
58	2,4-二硝基氯苯	气相色谱法	GB13194-91
59	苯酚	气相色谱法	待颁布
60	间-甲酚	气相色谱法	待颁布
61	2,4-二氯酚	气相色谱法	待颁布

续表

序号	项目	测定方法	方法来源
62	2,4,6-三氯酚	气相色谱法	待颁布
63	邻苯二甲酸二丁酯	气相、液相色谱法	待制定
64	邻苯二甲酸二辛酯	气相、液相色谱法	待制定
65	丙烯腈	气相色谱法	待制定
66	总硒	2,3-二氨基萘荧光法	GB 11902-89
67	粪大肠菌群数	多管发酵法	1)
68	余氯量	N,N-二乙基-1,4-苯二胺分光光度法	GB11898-89
		N,N-二乙基-1,4-苯二胺滴定法	GB 11897-89
69	总有机碳(TOC)	非色散红外吸收法	待制定
		直接紫外荧光法	待制定

注:暂采用下列方法,待国家方法标准发布后,执行国家标准。

1)《水和废水监测分析方法(第三版)》,中国环境科学出版社,1989 年。

2)《环境监测技术规范(放射性部分)》,国家环境保护局。

3)详见附录 D。

6 标准实施监督

6.1 本标准由县级以上人民政府环境保护行政主管部门负责监督实施。

6.2 省、自治区、直辖市人民政府对执行国家水污染物排放标准不能保证达到水环境功能要求时,可以制定严于国家水污染物排放标准的地方水污染物排放标准,并报国家环境保护行政主管部门备案。

附录(略)

3 生活饮用水水源水质标准

该标准规定了生活饮用水水源的水质指标、水质分级、标准限值、水质检验以及标准的监督执行,正文如下:

生活饮用水水源水质标准
中华人民共和国城镇建设行业标准
生活饮用水水源水质标准
CJ 3020-93

1 主题内容与适用范围

本标准规定了生活饮用水水源的水质指标、水质分级、标准限值、水质检验以及标准的监督执行。

本标准适用于城乡集中式生活饮用水的水源水质(包括各单位自备生活饮用水的水源)。分散式生活饮用水水源的水质,亦应参照使用。

2　引用标准

GB5749　　生活饮用水卫生标准

GB8161　　生活饮用水源水中铍卫生标准

GB11729　　水源水中百菌清卫生标准

GB5750　　生活饮用水标准检验法

3　生活饮用水水源水质分级

生活饮用水水源水质分为二级,其两极标准的限值见表1。

表1　生活饮用水水源水质

项　　目	标准限值	
	一级	二级
色	色度不超过15度,并不得呈现其他异色	不应有明显的其他异色
浑浊度/度	≤3	
嗅和味	不得有异臭、异味	不应有明显的异臭、异味
pH	6.5～8.5	6.5～8.5
总硬度(以碳酸钙计)/($mg\cdot L^{-1}$)	≤350	≤450
溶解铁/($mg\cdot L^{-1}$)	≤0.3	≤0.5
锰/($mg\cdot L^{-1}$)	≤0.1	≤0.1
铜/($mg\cdot L^{-1}$)	≤1.0	≤1.0
锌/($mg\cdot L^{-1}$)	≤1.0	≤1.0
挥发酚[以苯酚计/($mg\cdot L^{-1}$)]	≤0.002	≤0.004
阴离子合成洗涤剂/($mg\cdot L^{-1}$)	≤0.3	≤0.3
硫酸盐/($mg\cdot L^{-1}$)	<250	<250
氯化物/($mg\cdot L^{-1}$)	<250	<250
溶解性总固体/($mg\cdot L^{-1}$)	<1000	<1000
氟化物/($mg\cdot L^{-1}$)	≤1.0	≤1.0
氰化物/($mg\cdot L^{-1}$)	≤0.05	≤0.05
砷/($mg\cdot L^{-1}$)	≤0.05	≤0.05
硒/($mg\cdot L^{-1}$)	≤0.01	≤0.01
汞/($mg\cdot L^{-1}$)	≤0.001	≤0.001
镉/($mg\cdot L^{-1}$)	≤0.01	≤0.01
铬(六价)/($mg\cdot L^{-1}$)	≤0.05	≤0.05
铅/($mg\cdot L^{-1}$)	≤0.05	≤0.07
银/($mg\cdot L^{-1}$)	≤0.05	≤0.05

续表

项　　目	标准限值	
	一级	二级
铍/ (mg·L^{-1})	≤0.0002	≤0.0002
氨氮(以氮计)/ (mg·L^{-1})	≤0.5	≤1.0
硝酸盐(以氮计)/ (mg·L^{-1})	≤10	≤20
耗氧量($KMnO_4$法)/ (mg·L^{-1})	≤3	≤6
苯并(α)芘/ (μg·L^{-1})	≤0.01	≤0.01
滴滴涕/ (μg·L^{-1})	≤1	≤1
六六六/ (μg·L^{-1})	≤5	≤5
百菌清/ (mg·L^{-1})	≤0.01	≤0.01
总大肠菌群/ 个·L^{-1}	≤1000	≤10000
总α放射性/ (bq·L^{-1})	≤0.1	≤0.1
总放射性/ (bq·L^{-1})	≤1	≤1

3.1　一级水源水:水质良好。地下水只需消毒处理,地表水经简易净化处理(如过滤)、消毒后即可供生活饮用者。

3.2　二级水源水:水质受轻度污染。经常规净化处理(如絮凝、沉淀、过滤、消毒等),其水质即可达到GB5749规定,可供生活饮用者。

3.3　水质浓度超过二级标准限值的水源水,不宜作为生活饮用水的水源。若限于条件需加以利用时,应采用相应的净化工艺进行处理。处理后的水质应符合GB5749规定,并取得省、市、自治区卫生厅(局)及主管部门批准。

4　标准的限值

4.1　生活饮用水水源的水质,不应超过表1所规定的限值。

4.2　水源水中如含有表1中未列入的有害物质时,应按有关规定执行。

5　水质检验

5.1　水质检验方法按GB5750执行。铍的检验方法按GB8161执行。百菌清的检验方法按GB1729执行。

5.2　不得根据一次瞬时检测值使用本标准。

5.3　已使用的水源或选择水源时,至少每季度采样一次作全分析检验。

6　标准的监督执行

6.1　本标准由城乡规划、设计和生活饮用水供水等有关单位负责执行。生活饮用水供水单位主管部门、卫生部门负责监督和检查执行情况。

6.2　各级公安、规划、卫生、环保、水利与航运部门应结合各自职责,协同供水单位做好水源卫生防护区的保护工作。附加说明(略)。

第三节　水体自净与水环境容量
(Self-purification of Water Body and Water Environment Capacity)

4.3.1　水体自净(Self-purification of Water Body)

污染物随污水排入水体后,经过物理的、化学的与生物化学的作用,使污染的浓度降低或总量减少,受污染的水体部分地或完全地恢复原状,这种现象称为水体自净或水体净化。水体所具备的这种能力称为水体自净能力或自净容量。若污染物的数量超过水体的自净能力,就会导致水体污染。水体自净过程非常复杂,按机理可分为三类:

①物理净化作用。水体中的污染物通过稀释、混合、沉淀与挥发,使浓度降低,但总量不减。

②化学净化作用。水体中的污染物通过氧化还原、酸碱反应、分解合成、吸附凝聚(属物理化学作用)等过程,使存在形态发生变化及浓度降低,但总量不减。

③生物化学净化作用。水体中的污染物通过水生生物特别是微生物的生命活动,使其存在形态发生变化,有机物无机化,有害物无害化,浓度降低,总量减少。这几种过程互相交织在一起,可以使进入水体的污染物质迁移、转化,使水体水质得到改善。总的说来,生物化学净化作用是水体自净的主要原因。

1. 物理净化作用

(1)稀释

稀释作用的实质是污染物质在水体中因扩散而降低了浓度,稀释并不能改变也不能去除污染物质。

污染物质进入水体后,存在两种运动形式,一是由于水流的推动而产生的沿着水流前进方向的运动,称为推流或平流;另一是由于污染物质在水中浓度的差异而形成的污染物从高浓度处向低浓度处的迁移,称为扩散。

推流可以表示为

$$Q_1 = v \cdot c$$

式中: Q_1为污染物质推流量, $mg/(m^2 \cdot s)$; v 为河流流速, m/s; c 为污染物质浓度, mg/m^3。

由上式可见,河流流速越大,单位时间内通过单位面积输送的污染物质数量(污染物质推流量)越多。

扩散可以表示为

$$Q_2 = -k\frac{dc}{dx}$$

式中：Q_2为污染物质扩散量，mg/（m^2·s）；c为污染物质浓度，mg/ m^3；x为扩散路程长度，m；$\frac{dc}{dx}$为单位长度上的浓度变化值，mg/（m^3·m），由于 x 值增大时 c 值相应减小，故$\frac{dc}{dx}$为负值；k为扩散系数，m^2/ s，它与河流的弯曲程度、河床底部粗糙程度，以及流速、水源等因素有关。

由上式可见，污染物质的扩散量主要决定于水体中污染物质的浓度差及水体的扩散系数。

推流和扩散是两种同时存在而又相互影响的运动形式，其综合的结果是污染物浓度由排放口至水体下游逐渐减低，即发生了稀释。值得指出的是，废水排入水体后并不能与全部河水完全混合。影响混合的因素很多，主要有：

①河水流量与废水流量的比值。比值越大，达到完全混合所需的时间就越长，或者说必须通过较长的距离，才能使废水与整个河流断面上的河水达到完全均匀的混合。

②废水排放口的形式（包括排污口构造、排污方式、排污量等）。如废水在岸边集中一点排入水体，则达到完全混合所需的时间较长；如废水分散地排放至河流中央，则达到完全混合所需的时间较短。

③河流的水文条件。如河流水深、流速、河床弯曲情况，是否有急流、跌水等，都会影响混合程度。

在没有达到完全混合的河道断面上，只有一部分河水参与了对废水的稀释。参与混合稀释的河水流量与河水总流量之比，称为混合系数

$$\alpha = Q_1 / Q \qquad Q_1 \leq Q$$

式中：α为混合系数；Q_1为参与混合的河水流量，m^3/ s；Q 为河水总流量，m^3/ s。

在达到了完全混合的河流断面及其下游的断面上，混合系数 α = 1，而从废水排放口到完全混合断面的这段距离内，α < 1。

当河道较为平直，且无局部急流险滩时，混合系数可以近似地表示为

$$\alpha = L_1 / L \qquad L_1 < L$$

式中：α为混合系数；L_1为废水排放口至计算断面的距离，m；L 为废水排放口至完全混合断面的距离，m。

废水被河水稀释的程度，常用稀释比（n）表示，它是参与混合的河水流量（Q_1）与废水流量（q）的比值

$$n = \frac{Q_1}{q} = \frac{\alpha Q}{q}$$

在实际工作中可根据具体情况来确定混合系数 α 值。根据经验，流速为 0.2～0.3 m/ s 的河流，α可取为 0.7～0.8；流速较低时，α可取为 0.3～0.6；流速较高时，则可取 α为 0.9 左右。当废水排放口设计良好，如采用分散排放口、将排

放口伸入水体并设置多个排放口时,可考虑取 α= 1。

考虑了稀释作用后,计算断面上水中污染物质的浓度

$$c = \frac{c_1 q + c_2 \alpha Q}{\alpha Q + q}$$

式中: c 为计算断面上水中污染物质的浓度, mg/ L; c_1 为废水中污染物质的浓度, mg/ L; c_2 为废水排放前河水中该污染物质的浓度, mg/ L。

当废水排放前河水中该污染物质的浓度为零时,可简化为

$$c = \frac{c_1 q}{\alpha Q} = \frac{c_1}{n}$$

(2)沉淀与挥发

污染物中的可沉物质,可通过沉淀去除,使水体中污染物的浓度降低,但底泥中污染物的浓度增加,如果长期沉淀,淤积河床,一旦受到暴雨冲刷或扰动,可对河水造成二次污染。沉淀作用的大小可表达为

$$\frac{dC}{dt} = - k_3 C$$

式中: C 为水中可沉淀污染物浓度, mg/ L; k_3 为沉降速率常数(沉淀系数),如果 k_3 取负值,表示已沉降物质再被冲起。

若污染物属于挥发性物质,可由于挥发而使水体中的浓度降低。

2　化学净化作用

(1)氧化还原

氧化还原是水体化学净化的主要作用。水体中的溶解氧可与某些污染物产生氧化反应。如铁、锰等重金属离子可被氧化成难溶性的氢氧化铁、氢氧化锰而沉淀。硫离子可被氧化成硫酸根随水流迁移。还原反应则多在微生物的作用下进行,如硝酸盐在水体缺氧条件下,由反硝化菌的作用还原成氮而被去除。

(2)酸碱反应

水体中存在的地表矿物质(如石灰石,白云石,硅石)以及游离二氧化碳、碳酸系碱度等,对排入的酸、碱有一定的缓冲能力,使水体的 pH 维持稳定。当排入的酸、碱量超过缓冲能力后,水体的 pH 就会发生变化。若变成偏碱性水体,会引起某些物质的逆向反应,例如已沉淀于底泥中的三价铬、硫化砷(AsS, As_2S_3)等,可分别被氧化成六价铬(K_2CrO_4)、硫代亚砷酸盐(AsS_3^{3+})而重新溶解;若变成偏酸性水体,上述反应逆向进行。

(3)吸附与凝聚

属于物理化学作用,产生这种净化作用的原因在于天然水中存在着大量具有

很大表面能并带电荷的胶体微粒。胶体微粒有使能量变为最小及同性相斥、异性相吸的物理现象,它们将吸附和凝聚水体中各种阴、阳离子,然后扩散或沉降,达到净化的目的。

3. 生物化学净化作用

有机污染物进入水体后在微生物作用下降解为无机物的过程,可以使有机污染物的浓度大大减少,这就是水体的生化自净作用。

生物降解分为好氧生物降解和厌氧生物降解。在未受污染的水体中,水中都有一定浓度的溶解氧。但是,当水体受到有机物的污染后,水体中的微生物就会大量繁殖起来。由于好氧微生物比厌氧微生物生长快,所以好氧微生物首先发展壮大。当好氧微生物发展到一定数量,它们消耗水中溶解氧的速率有可能超过空气中的氧气向水中溶解的速率(称为复氧速率)。一旦如此,水中的溶解氧浓度就开始迅速下降,直到浓度降到接近零,使水体呈现无氧或缺氧状态。生化自净作用需要消耗氧;所消耗的氧如得不到及时的补充,生化自净过程就要停止,水体水质就要恶化。因此,生化自净过程实际上包括了氧的消耗和氧的补充(恢复)两方面的作用。氧的消耗过程主要决定于排入水体的有机污染物的数量,也要考虑排入水体中氨氮的数量,以及废水中无机性还原物质(如 SO_3^{2-})的数量。氧的补充和恢复一般有以下两个途径:大气中的氧向含氧不足的水体扩散,使水体中的溶解氧增加;水生植物在阳光照射下进行光合作用放出氧气。

图 4.1 表示了有机污染物排入水体后,水体中溶解氧含量变化的情形。图中有三条曲线,累积耗氧量表示的是耗氧过程,累积复氧量反映了复氧过程,其综合结果是水体中溶解氧浓度的变化。由图可见,在排放口附近,水体中溶解氧含量急剧下降,这是因为此时排入的有机物较多,耗氧速度大于复氧速度;随着有机污染

图 4.1 氧垂曲线

物的不断分解氧化,耗氧速度不断降低,在排放口下游的某点终于出现了耗氧速度与复氧速度相等的情况,这时溶解氧的含量最低,此点被称为最缺氧点。根据图中反映溶解氧浓度变化的曲线呈现的形状,它常被称为氧垂曲线。

氧垂曲线的形状会因排放的有机污染物量、废水和河水的流量、河道的变曲情况、水流速度等因素而有一定的差别,例如当河流受到的污染负荷较轻时,最缺氧点距排放口的距离较远,其时的溶解氧浓度也较高;但河流受到的污染负荷较重时,最缺氧点将很快出现,该点的溶解氧浓度也会很低。当比值低于 4 mg/ L 时,河道中局部地段的鱼类生长将受到影响,当比值达到零时,河水出现厌氧状态,卫生情况将很差。这种情况下的氧垂曲线将是一条被横坐标切断的曲线,有时甚至不可能再通过复氧作用而重新出现溶解氧。这是最严重的水污染状况,此时的水体不仅将鱼虾绝迹,也将丧失一切使用功能。

当一个水体受到较严重的有机污染时,水中的溶解氧是随水的深度变化的,表层水体的溶解氧较高,越往深处溶解氧越低,直至厌氧状态。因此,好氧微生物集中在水体的上部,阻止了从空气中补充进来的溶解氧向下层的传递,从而维持下层水体的厌氧状态,使得厌氧微生物集中在水体的底部。水体的水流状态和温度、气压高低对水的复氧速率有较大影响,因而在一定程度上决定了水体的溶解氧浓度。

4.3.2　水环境容量(Water Environment Capacity)

水环境容量是满足水环境质量标准要求的最大允许污染负荷量,或纳污能力。它是以环境目标和水体稀释自净规律为依据的。正确认识和利用水环境容量对水污染控制有重要的意义。影响水环境容量的主要因素有以下五点:

①水环境质量标准。依据水环境功能、用途划分,如,生活饮用水、工业用水、农业用水、养鱼和水生物用水、游览用水等。

②水体稀释自净规律。影响水体稀释自净的差值容量,及各种自净作用的同化容量。

③水量及随时间的变化。水量的大小决定着差值容量的大小,也影响水体的自净作用。另外,水量的交换速度对同化容量有影响。

④水体自然背景值。自然背景值越高,环境容量越小。

⑤排污点的位置与方式。排污点分布均匀时,可推算得最大环境容量,排污点较集中时,水体的环境容量就相应减少。

水环境容量与水体的用途和功能有十分密切的关系。我国地面水环境质量标准中按照水体的用途和功能将水体分为五类,每类水体规定有不同的水质目标。显然.水体的功能愈强,对其要求的水质目标也愈高,其水环境容量必将减小。反之,当水体的水质目标不甚严格时,水环境容量可能会大一些。

当然,水体本身的特性,如河宽、河深,流量、流速及其天然水质、水文特征等,

对水环境容量的影响很大。污染物的特性,包括扩散性、降解性等,也都影响水环境容量。一般说来,污染物的物理化学性质越稳定,其环境容量越小;耗氧性有机物的水环境容量比难降解有机物的水环境容量大得多;而重金属污染物的水环境容量则较小。

水体对某种污染物质的水环境容量可表示如下

$$W = V(c_S - c_B) + C$$

式中: W 为某地面水体对某污染物的水环境容量,kg; V 为该地面水体的体积,m^3; c_S为地面水中某污染物的环境标准,mg/ L; c_B为地面水中某污染物的环境背景值,mg/ L; C 为地面水对该污染物的自净能力,kg。

第四节 我国的水环境污染现状
(Water Pollution in China)

4.4.1 水污染现状(Water Pollution in China)

根据 2000 年和 2001 年的水环境国家公报,我国的水环境污染现状如下:

水环境 2000 年国家公报

状况

2000 年,中国七大重点流域地表水有机污染普遍,各流域干流有 57.7% 的断面满足Ⅲ类水质要求,21.6% 的断面为Ⅳ类水质,6.9% 的断面属Ⅴ类水质,13.8% 的断面属劣Ⅴ类水质。主要湖泊富营养化问题突出。

主要水系

长江流域 干流 43 个水质监测断面均达到Ⅱ至Ⅲ类水质标准。主要一级支流汉江水质达到Ⅱ类水质标准;嘉陵江达到Ⅱ至Ⅲ类水质标准;岷江、湘江和赣江达Ⅱ至Ⅳ类水质标准。主要污染指标为石油类和氨氮。

黄河流域 干流 7 个水质监测断面Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ类水质比例分别为 28.6%、42.8%、14.3% 和 14.3%。主要污染指标为高锰酸盐指数等。黄河干流悬浮物浓度高达 1500～5500 毫克/ 升。两大支流渭河和汾河污染严重,主要污染指标为氨氮、高锰酸盐指数、生化需氧量和石油类。

珠江流域 28 个水质监测断面中,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ类水质比例分别为 57.1%、28.6%、3.6% 和 10.7%,水质良好。广东境内部分江段有机污染指标超过Ⅲ类标准。

松花江流域 16 个水质监测断面中,Ⅲ、Ⅳ类水质比例分别为 43.8% 和 56.2%。其中嫩江达到Ⅲ类水质要求;第二,松花江以Ⅲ～Ⅳ类水质为主,松花江干流则以Ⅳ类水质为主。主要污染指标为高锰酸盐指数和生化需氧量。

淮河流域 淮河流域 82 个水质监测断面中,54.8% 的断面达到Ⅰ～Ⅳ类水质要求,8.9% 的断面属Ⅴ类水质,36.3% 的断面属劣Ⅴ类水质。干流水质基本达到规划目标高锰酸盐指数为Ⅲ类的要求。流域枯水期水质较差,丰、平水期水质相对较好。主要污染指标为氨氮和高锰酸盐指数。

海河流域 56 个水质监测断面中,达到Ⅰ～Ⅲ类水质要求的占 30.3%,主要分布在水源地及其上游生

态保护区内，Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的断面比例分别为 7.1％和 60.7％，主要分布在一般监管河流、跨省界河流及渤海湾入口处。主要污染指标为高锰酸盐指数、生化需氧量和氨氮。

辽河流域　16 个水质监测断面中，Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ类和劣Ⅴ类水质比例分别为 6.3％、25.0％、6.3％和 62.4％。主要污染指标为高锰酸盐指数和生化需氧量。

浙闽片河流　总体水质良好。水质达到Ⅰ类的断面占 7.0％，Ⅱ类占 30.0％，Ⅲ类占 45.0％，Ⅳ类占 9.0％，Ⅴ类占 6.0％，劣Ⅴ类占 3.0％。主要污染指标为氨氮。金华江和衢江部分江段污染相对较重。

内陆河流　污染较轻，Ⅰ类水质的断面占 21.0％，Ⅱ类水质占 52.0％，Ⅲ类水质占 26.0％，Ⅳ类水质占 1.0％。

七大水系污染程度由重到轻顺序为：辽河、海河、淮河、黄河、松花江、珠江和长江。各大流域片的主要污染河段均集中在城市河段。

大型淡水湖泊

太湖流域　101 个监测点位中，80.0％的点位高锰酸盐指数达到规划要求。湖体 22 个点位中，总氮、总磷等超标突出，属富营养化状态。环湖主要河流及环湖交界水体污染严重。

滇池　湖体 13 个监测点位均为劣Ⅴ类水质，草海污染突出，外海高锰酸盐指数基本可达Ⅲ类水质要求，总氮、总磷污染仍很严重，处于重富营养化状态。

巢湖　湖体 12 个监测点位中，54.0％的点位为Ⅴ类水质，46.0％的点位属劣Ⅴ类水质，总氮、总磷超标严重，属中富营养状态。

其他大型淡水湖泊　洱海、兴凯湖和博斯腾湖水质良好，湖体水质均达到Ⅲ类水质标准；洞庭湖、镜泊湖和洪泽湖水质达到Ⅳ类水质标准；白洋淀、达赉湖和南四湖污染严重，均为劣Ⅴ类水质。

大型水库

北京密云、抚顺大伙房、吉林松花湖、天津于桥、湖北丹江口、合肥董铺、青岛崂山、烟台门楼、汉口石门和杭州千岛湖等 10 座大型水库中，千岛湖为Ⅰ类水质，于桥水库和松花湖为Ⅲ类水质，其余 7 座水库为Ⅱ类水质，大型水库水质总体良好。丹江口水库、千岛湖和石门水库处于贫营养状态，其他 7 座水库处于中营养状态。

地下水

2000 年，东北、华北和西北地区因降水量普遍较小及主要城市开采量增加，地下水水位总体呈下降趋势；东南、中南和西南地区因降水量较大、地下水开采程度相对较低，地下水水位变化较为平衡。

黄淮海地区由于地下水开采量的不断增加和降水量的减小，近年来地下水位不断下降，地下水降落漏斗面积及漏斗中心水位埋深在不断增大；河北、河南豫北地区和山东西北地区的地下水降落漏斗已连成一片，形成包括北京和天津在内的华北平原地下水漏斗区，面积超过 4 万平方千米。

2000 年，全国多数城市地下水受到一定程度的点状或面状污染，局部地区地下水部分水质指标超标，主要有矿化度、总硬度、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、铁、锰、氯化物、硫酸盐、氟化物、pH 等。在污染程度上，北方城市重于南方城市，尤以华北地区污染较突出。我国大部分地区地下水水质趋于稳定或略有改善，但仍有部分城市和地区地下水污染加重。

废水和主要污染物排放量

2000 年，全国工业和城市生活废水排放总量为 415 亿吨，其中工业废水排放量 194 亿吨，城市生活污水排放量 221 亿吨。废水中化学需氧量（COD）排放总量 1445 万吨，其中工业废水中 COD 排放量 705 万吨，生活污水中 COD 排放量 740 万吨。

2000 年，全国工业废水处理率（含县及县以上工业和重点乡镇工业污染源）为 94.7％，工业废水排放达标率为 82.0％；县及县以上工业废水处理率和排放达标率分别为 95.0％和 82.1％。

2000 年与 1995 年废水及 COD 排放量对比

项目 / 年度	废水排放量/ 10^8t			COD 排放量/ 10^8t		
	生活	工业	总量	生活	工业	总量
2000 年	220. 9	194. 2	415. 1	740. 5	705. 0	1445. 5
1995 年	133. 7	281. 6	415. 3	610. 3	1622. 9	2233. 2
增减率/ %	65. 2	- 31. 0	0. 00	21. 3	- 56. 6	- 35. 3

措施与行动

“三河三湖”流域水污染防治　淮河及“三湖”水污染防治工作第二阶段目标部分完成,海河及辽河治污正进入第一阶段。淮河流域已建成和在建城市生活污水处理设施 38 座。已建、在建规模 312. 5 万吨/ 日,占应建规模(364. 5 万吨/ 日)的 86. 0 %。太湖已建成和在建城市生活污水处理设施 53 座。滇池有 5 个城市污水治理项目正在建设,其中 1 个为扩建,4 个为新建。巢湖水污染综合整治全面展开。

全国供水节水和水污染防治工作会议　2000 年 6 月,国务院召开了“全国供水节水和水污染防治工作会议”,并颁发了《国务院关于加强供水节水和水污染防治工作的决定》。

黄河干流生态用水 2000 年,黄河干流合理调配水资源,在黄河干流多年出现断流的情况下,加强了生态用水管理工作,确保了 2000 年度用水基本流量,黄河干流全年未出现断流。

海洋环境 2000 年国家公报

状况

2000 年,二、三、四类和劣四类水质区面积分别为 10. 2 万平方千米、5. 4 万平方千米、2. 1 万平方千米、2. 9 万平方千米。沿海省(自治区、直辖市)中,上海、浙江、辽宁、天津、江苏近岸和近海海域污染较重。海水中的主要污染物是无机氮、磷酸盐、油类,以及汞、铅等。

近岸海域水质

渤海、黄海、东海和南海四大海区中,渤海近岸污染程度明显减轻,但仍处于较重污染水平。东海近岸污染加重。黄海和南海近岸水质基本稳定,水质较好。四大海区污染由重到轻依次为东海、渤海、南海和黄海。

赤潮　2000 年,中国海域共记录到赤潮 28 起,比 1999 年增加了 13 起,累计面积 1 万多平方千米。其中,东海 11 起,累计面积 7800 多平方千米;渤海 7 起,累计面积近 2000 平方千米,黄海 4 起,累计面积 800 多平方千米;南海 6 起,累计面积近 50 平方千米。

赤潮发生次数较多的有浙江、辽宁、广东、河北、福建近岸、近海海域。浙江中部近海、辽东湾、渤海湾、杭州湾、珠江口、厦门近岸、黄海北部近岸等是赤潮多发区。引发赤潮的生物以甲藻类为主。

溢油　据不完全统计,2000 年我国海域发现的溢油事件约 10 起,其中最重的一次为 11 月 14 日,两艘外轮在珠江口虎门大桥附近水域相撞,船体严重破损,所载的 230 立方米燃料油全部泄漏入珠江口狮子洋、伶仃洋海域,受污染水域面积约 390 平方千米。

措施与行动

《海洋环境保护法》实施　2000 年 4 月 1 日,修订后的《中华人民共和国海洋环境保护法》开始实施。沿海各级政府组织了大规模的宣传活动,增强了全民的海洋环境保护意识。

我国的水环境当前存在的主要问题有三个:一是水资源短缺;二是水污染;三是用水的极大浪费。七十年代以来,尽管我国在水染防治方面做了很多工作,但水污染的发展趋势仍未得到有效控制,许多江、河、湖泊、水库的水质仍在下降。我国本来就是一个缺水国家,全国 600 多个城市目前大约有一半的城市缺水,而水污染使缺水形势显得更为严峻。日趋严重的水污染不仅降低了水体的使用功能,进一步加剧了水资源短

缺的矛盾,对我国正在实施的可持续发展战略带来了严重的负面影响,而且还严重地威胁到城乡居民的饮水安全和人民群众的健康。

水环境2001年国家公报

2001年度七大水系监测的752个重点断面中,Ⅰ～Ⅲ类水质占29.5%,Ⅳ类水质占17.7%,Ⅴ类和劣Ⅴ类水质占52.8%。其中,七大水系干流154个国控断面中,Ⅰ～Ⅲ类水质断面占50.6%,Ⅳ类占26.0%,Ⅴ类和劣Ⅴ类占23.4%,各水系干流水质好于支流。2001年度七大水系污染由重到轻的顺序依次是:海河、辽河、淮河、黄河、松花江、长江和珠江。与上年相比,污染轻重顺序未变,污染程度相近。

主要水系

长江水系　142个水质监测断面,其中干流断面42个,以Ⅱ类水质为主,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ类水的比例分别为9.5%、81.0%、7.1%和2.4%。主要一级支流(岷江,沱江,嘉陵江,乌江,汉江,湘江,资江,沅江,澧水和赣江)断面100个,Ⅰ～Ⅲ类水质占68.0%。长江水系的主要污染指标是石油类、氨氮和高锰酸盐指数。与上年相比,水质持平。

黄河水系　175个水质监测断面,其中干流断面29个。2001年黄河水系污染总体较重,Ⅴ类和劣Ⅴ类水质断面占62.9%。黄河干流水质稍好,Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类和劣Ⅴ类水的比例分别为13.8%、3.4%、44.8%、10.3%和27.6%。主要污染指标为溶解氧、高锰酸盐指数、生化需氧量、挥发酚和石油类。黄河干流悬浮物浓度很高,最高达4851毫克/升。与上年相比,水体污染程度加重。

珠江水系　28个水质监测断面中,Ⅱ～Ⅲ类水质的断面占78.6%,Ⅳ类水质占14.3%,劣Ⅴ类水质占7.1%。主要污染指标是氨氮和生化需氧量。

珠江水系　广西境内江段水质好于广东境内江段。与上年相比,水质持平。

松花江水系　66个水质监测断面中,Ⅱ～Ⅲ类水质的断面占31.8%。其中嫩江满足Ⅲ类水质要求,吉林省境内松花江干流以Ⅲ～Ⅳ类水质为主,黑龙江省境内松花江干流以Ⅳ类水质为主,污染严重的河流是伊通河和安肇新河,主要污染指标为氨氮、石油类、高锰酸盐指数和生化需氧量。与上年相比,水质有所下降。

淮河水系　77个水质监测断面中,Ⅰ～Ⅳ类水质的断面占40.3%,Ⅴ类和劣Ⅴ类水质占59.7%。2001年水系丰水期水质较差,枯、平水期水质相对较好,主要污染指标为高锰酸盐指数和氨氮。与上年相比,由于水量大幅度下降,水体污染加重。

2001年度淮河水系水质类别比例　　单位:%

类别比例 / 河流	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	劣Ⅴ
淮河干流	0.0	22.2	11.1	33.4	0.0	33.3
一级支流	0.0	14.3	9.5	28.6	9.5	38.1
二、三级支流	0.0	0.0	12.5	18.8	6.2	62.5
山东省界河段	0.0	8.0	16.0	4.0	8.0	64.0
年度总计	0.0	7.8	14.3	18.2	6.5	53.2

淮河干流Ⅱ～Ⅳ类水质的断面占66.7%;一级支流Ⅱ～Ⅳ类水质的断面占52.4%;二、三级支流、省界河段和山东境内河流以Ⅴ类和劣Ⅴ类水质为主,分别有31.3%、28.0%和36.4%的断面满足Ⅱ～Ⅳ类水质要求。

海河水系　167个水质监测断面中,Ⅱ、Ⅲ类水质断面占14.4%,Ⅳ类水质占10.8%,Ⅴ类水质占

7.8 %,劣Ⅴ类水质断面占 67.1 %。主要污染指标为氨氮、石油类、高锰酸盐指数、挥发酚,77.7 % 的Ⅴ类、劣Ⅴ类水质断面首要污染物是氨氮。与上年相比,水质基本持平。

31 个跨省界断面中,64.5 % 的断面水质为Ⅴ类或劣Ⅴ类,山西入河北省境内水质较好,基本达到功能要求;北京、山东、河南省入河北省境内水质为劣Ⅴ类;河北省入天津淋河桥断面、入密云水库的清水河墙子路断面水质为Ⅱ类;北京入天津境内水质为劣Ⅴ类。主要污染指标是氨氮、石油类、高锰酸盐指数、挥发酚。

海河水系有 11 座水库为水源地,除黄壁庄水库生化需氧量超标外,其他水库均满足或优于Ⅲ类水质要求。

辽河水系　97 个水质监测断面中,除鸭绿江水系水质较好外,其他河流水体污染都很严重,Ⅴ类和劣Ⅴ类水质断面占 70 % 以上。主要污染指标是高锰酸盐指数、生化需氧量和氨氮。与上年相比,由于水量大幅度下降,水体污染加重。

浙闽片河流　污染较轻,水质达到Ⅰ类的断面占 17.6 %,Ⅱ类占 41.2 %,Ⅳ类占 35.3 %,Ⅴ类占 6.0 %,没有劣Ⅴ类水质。主要污染指标为石油类和氨氮。甬江宁波段污染较重。

内陆河流　总体水质良好,Ⅰ类水质断面占 21.0 %,Ⅱ类占 52.0 %,Ⅲ类占 26.0 %,Ⅳ类占 1.0 %。

南水北调(东线)　44 个水质监测断面中,南水北调工程源水——长江江都(镇江)段、洪泽湖、东平湖和北大港水库水质较好,满足Ⅲ类水质要求,其余江段均受到不同程度污染,主要污染指标是氨氮、高锰酸盐指数和石油类。

湖泊水库

主要湖泊富营养化问题依然突出。2001 年太湖和滇池外海均属中度富营养状态,巢湖属轻度富营养状态。

2001 年度"三湖"营养状态指数

湖泊名称	营养状态指数	富营养程度
太湖	60.93	中度
巢湖	58.31	轻度
滇池(外海)	66.12	中度

太湖　100 个水质监测点位中,湖体 20 个,环湖主要河流 28 个,环湖交界水体 52 个。与上年相比,水质基本持平。

太湖湖体高锰酸盐指数属于Ⅲ类水质,总磷属于Ⅴ类水质,总氮劣于Ⅴ类标准。由于氮、磷污染严重,20 个湖体水质监测断面中,Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的断面比例分别为 15 % 和 85 %。湖体处于中度富营养状态。

2001 年度太湖湖体主要污染指标值　　单位:mg/L

湖区	高锰酸盐指数	总磷	总氮	叶绿素 a	营养状态指数	水质类别
五里湖	7.24	0.192	5.64	0.102	70.32	劣Ⅴ类
梅梁湖	6.37	0.153	3.94	0.047	65.92	劣Ⅴ类
西部沿岸区	6.26	0.119	2.71	0.039	63.91	劣Ⅴ类
湖心区及东部沿岸	4.73	0.073	1.35	0.018	56.37	劣Ⅴ类
全湖平均	5.38	0.097	2.19	0.030	60.93	劣Ⅴ类

2001 年度太湖水系环湖河流水质达Ⅲ类标准比例　　单位：%

评价指标	环湖主要河流达标断面	主要交界水体达标断面	总体达标断面
高锰酸盐指数	96. 4	80. 8	86. 3
氨氮	39. 3	11. 5	21. 3
总磷	57. 1	17. 3	31. 3
监测指标综合评价	35. 7	7. 7	17. 5

环湖主要河流及环湖交界水体污染严重，80 个水质监测断面中，属 V 类和劣 V 类水质的断面比例为 62. 5%。主要污染物为氨氮、总磷。高锰酸盐指数符合 I 至Ⅲ类水质要求的断面占 86. 3%，属Ⅳ类和 V 类水质的断面比例分别为 7. 5% 和 6. 2%。

滇池　污染严重，10 个测点均为劣 V 类水质。其中草海污染更为突出，外海处于中度富营养状态，高锰酸盐指数基本可达Ⅲ类水质要求。草海处于重度富营养状态，污染程度明显重于外海。与上年相比，水质基本持平。

2001 年度滇池湖体主要污染指标值　　单位：mg/ L

湖区	高锰酸盐指数	总磷	总氮	叶绿素 a	营养状态指数	水质类别
草海	12. 40	1. 23	13. 45	0. 221	82. 24	劣 V 类
外海	7. 57	0. 21	2. 21	0. 070	66. 12	劣 V 类

巢湖　湖体 12 个测点由于总氮、总磷严重超标，均属劣 V 类水质。高锰酸盐指数均达Ⅲ类水质要求。巢湖西半湖处于中度富营养状态，东半湖处于中营养状态，全湖平均为轻度富营养。巢湖西半湖污染程度明显重于东半湖。与上年相比，水体污染加重。

巢湖主要出入湖河道中，兆河、柘皋河水质良好，为Ⅲ类水质，裕溪河为Ⅳ类水质，其余河道均为劣 V 类水质。主要污染物是总磷和氨氮。

2001 年度巢湖湖体主要污染指标值　　单位：mg/ L

湖区	高锰酸盐指数	总磷	总氮	叶绿素 a(mg/ m^3)	营养状态指数	水质类别
东半湖	6. 21	0. 25	2. 97	12. 20	62. 19	劣 V 类
西湖	4. 20	0. 13	2. 20	0. 81	49. 66	劣 V 类
湖平均	5. 21	0. 19	2. 58	6. 50	58. 31	劣 V 类

2001 年度巢湖水系出入湖河道水质达Ⅲ类标准比例　　单位：%

评价指标	达标断面
总磷	18. 2
高锰酸盐指数	54. 5
氨氮	45. 5
监测指标综合评价	18. 2

其他大型湖泊　洞庭湖、达赉湖、洪泽湖、兴凯湖、南四湖、博斯腾湖、白洋淀、洱海、镜泊湖和洪湖 10 个淡水湖泊中,洱海、兴凯湖、博斯腾湖和洪湖水质良好,湖体水质均达到Ⅲ类标准;洞庭湖、镜泊湖和洪泽湖水质达到Ⅳ类标准;白洋淀、达赉湖和南四湖污染严重,均为劣Ⅴ类水质。

城市内湖　北京昆明湖为Ⅲ类水质,杭州西湖为Ⅳ类水质,南京玄武湖、武汉东湖和济南大明湖均为劣Ⅴ类水质。

大型水库　北京密云、抚顺大伙房、吉林松花湖、天津于桥、湖北丹江口、合肥董铺、青岛崂山、烟台门楼、汉口石门和杭州千岛湖 10 座大型水库中,千岛湖和丹江口水库为Ⅰ类水质,于桥水库和松花湖为Ⅲ类水质,其余 6 座水库为Ⅱ类水质,大型水库水质总体良好。

地下水

全国 186 个主要地下水水位监测城市和地区中,有 63 个城市和地区地下水水位有所回升,回升区所占比例为 34 %,比上年增加近 10 %;但地下水水位总的发展趋势仍以下降为主,下降区比例高达 62 %。

全国大部分城市和地区地下水水质总体较好,局部受到一定程度的点状或面状污染,部分指标超标,主要污染指标有矿化度、总硬度、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、铁、锰、氯化物、硫酸盐、氟化物、pH 等。北方城市地下水污染重于南方城市,超标率高。氨氮污染在全国各地区均较突出,矿化度和总硬度超标主要分布在东北、华北、西北和西南等地区,铁和锰超标主要在东北和南方地区。

废水和主要污染物排放量

2001 年,全国工业和城镇生活废水排放总量为 428.4 亿吨,比上年增加 3.2 %。其中,工业废水排放量 200.7 亿吨,比上年增加 3.5 %;城镇生活污水排放量 227.7 亿吨,比上年增加 3.0 %。废水中化学需氧量(COD)排放总量 1406.5 万吨,比上年减少 2.7 %。其中工业废水中 COD 排放量 607.5 万吨,比上年减少 13.8 %;生活污水中 COD 排放量 799 万吨,比上年增加 8.0 %。

2001 年,全国工业废水排放达标率为 85.6 %。其中重点企业工业废水排放达标率为 86.9 %,非重点企业工业废水排放达标率为 73.9 %。

措施与行动

核查"三河三湖"水污染防治"九五"计划执行情况　国家环保总局联合国家计委、建设部、水利部、农业部、交通部、国务院法制办、国家旅游局等 8 个部门,于 2001 年 2～3 月分别对淮河、海河、辽河、太湖、巢湖、滇池水污染防治"九五"计划执行情况进行了全面核查。"九五"计划执行情况总体良好。

编制"三河三湖"水系水污染防治"十五"计划　国家环保总局组织"三河三湖"水系 14 个省、自治区、直辖市和国务院近 20 个有关部门,编制完成了淮河、海河、辽河、太湖、巢湖、滇池水系水污染防治"十五"计划。其中太湖水污染防治"十五"计划已经国务院批复实施。

抓好太湖水污染防治　温家宝副总理主持召开了太湖水污染防治领导小组第三次工作会议。会议总结了太湖"九五"水污染防治工作,并对"十五"工作作了部署。国家环保总局联合监察部建立了太湖水系行政监察制度。实施了太湖信息专报制度,不定期向太湖水污染联席会议成员单位发布太湖治污进展情况。

实施长江三峡库区水污染防治规划　2001 年 8 月,成立国务院三峡库区水污染防治领导小组,由国务院有关部门和湖北省、重庆市、四川省、贵州省、云南省有关领导同志组成。领导小组主持制定了《三峡库区及其上游水污染防治规划》,经国务院批准实施。

南水北调工程前期工作　制定东线、中线调水方案,国务院领导提出了"先节水,后调水;先治污,后通水;先环保,后用水"的原则,并编制了治污规划。

启动扎龙湿地应急调水工程　为缓解扎龙湿地干旱缺水状况,抢救湿地生态环境,水利部门利用水利工程采取临时补水措施,2001 年夏秋两季为扎龙湿地补水。

海洋环境 2001 年公报

状况

2001 年,中国大部分海域环境质量基本保持良好状态。全国未达到一类海水水质标准的海域面积约 17.3 万平方千米。其中,二类、三类、四类和劣四类海水海域面积分别约为 9.8 平方千米、2.6 万平方千米、1.6 万平方千米和 3.3 万平方千米。与上年相比,未达到一类水质标准的海域总面积有所减少,近岸海域局部污染仍然较重。

近岸海域水质

2001 年,近岸海域水质主要受到活性磷酸盐和无机氮的影响,部分海域主要污染物是化学需氧量、石油类和铅,近岸海水以二类和超四类为主。超四类海水比例在四大海区中以东海为最,占 52.0%,其次是渤海,占 38.5%,黄海和南海分别占 26.4% 和 19.1%。与上年相比,渤海和东海近岸水体污染加重,黄海和南海近岸水质基本稳定,水质较好。四大海区污染由重到轻依次为东海、渤海、黄海、南海。

赤潮　2001 年,中国海域赤潮发生次数增多,发生时间提前,主要赤潮生物种类增多,总次数和累计影响面积均比上年有大幅度增加。全国海域共发现赤潮 77 次,累计面积达 15,000 多平方千米,比上年增加 49 次,增加面积约 5,000 平方千米。各海区中,渤海 20 次,黄海 8 次,东海 34 次,南海 15 次。浙江、辽宁、广东、福建等近岸、近海海域为赤潮多发区。赤潮频繁发生海域多为受无机氮和磷酸盐污染较重的海域。大面积赤潮主要集中在东海、渤海和黄海海域。

措施与行动

《渤海碧海行动计划》　2001 年 10 月,国务院批复了《渤海碧海行动计划》。计划用 15 年时间,使渤海海域环境质量明显好转,生态系统得到初步改善。

近岸海域环境功能区划　国家环保总局完成近岸海域环境功能区划。全国近岸海域共划分一至四类功能区 651 个,拟定了功能区达标考核办法,开展了近岸海域环境功能区监测站位布设工作,启动环境功能区信息系统建设工作。

海洋赤潮防治　国家海洋局部署了 2001 年全国赤潮防治工作,组织实施了重点海域赤潮监测预警和防灾减灾示范项目,加强了赤潮信息管理。

环渤海地区禁磷　为防止磷对渤海的污染,环渤海地区开展禁止使用含磷洗涤剂。辽宁、山东两省已在全省禁止使用含磷洗涤剂。天津市和河北省的沿海城市自 2002 年 1 月起实施禁磷。

4.4.2　水污染对社会经济带来的严重影响(Adverse Effect of Water Pollution on the Society and Economy)

(1)城乡居民的饮用水安全受到严重威胁

由于我国水环境污染严重,使城乡居民饮水安全受到威胁。据卫生部门的调查统计,我国有 65.4% 的人口饮用不合标准的水。1989 年国家环保局组织对全国环境保护重点城市饮用水水源保护情况进行调查,结果发现有 48% 的地表水源、20% 的地下水源达不到标准。由于水源地污染而引起的社会问题相当突出。其中比较典型的是 1994 年、1995 年,淮河干流连续发生的水污染事故,引起淮南、蚌埠、盱眙等市县上百万人一段时间没水喝,当地群众反映十分强烈。太湖近年来蓝藻频发,造成无锡自来水厂取水困难,部分水厂停产。海河流域有不少地区已经成为“污水县”、“污水乡”,当地群众饮水发生困难。

(2)对工、农业生产产生严重影响

我国是水资源相对贫乏的国家,人均水资源量相当于世界人均占有量的四分之一,居世界第 88 位。随着工农业的发展和人民生活水平的提高,水资源紧缺的矛盾日趋紧张。而目前日趋严重的水污染又进一步加剧了水资源短缺的矛盾。特别像辽河流域、海河流域、淮河流域内的广大地区,本来就是我国缺水最严重的地区,严重的水污染使当地缺水矛盾尖锐化,给工农业生产造成严重损失。此外,由于水资源紧缺,有些城市和地区多年来一直用污水进地灌溉,仅海河流域污灌面积就达 1000 万亩。长期污灌,使得污灌区土壤遭到污染,从而使农作物带有一定残毒,有的甚至无法食用。水污染对渔业同样产生了严重的影响,一些污染严重的河段已经鱼虾绝迹。

(3)对人民群众健康产生严重威胁

水污染严重的地区,一方面饮水安全受到威胁,另一方面长期污灌,造成地表水、地下水、土壤、农牧渔产品等的污染和农业生态环境的破坏,对人体健康已构成了威胁。据一些地区居民健康普查结果,污染区居民的肠道疾病率、癌症发病率及婴儿先天性畸变、畸胎的发生率均比对照区有明显的增高。

(4)跨行政区的水污染纠纷日趋尖锐

严重的水污染造成一些地区水污染事故频繁,从而引发了许多污染纠纷,其中尤为跨行政区的水污染纠纷危害最大。仅以省界水污染纠纷为例,如山东德州与河北吴桥的污染纠纷、浙江庆元与福建松溪的污染纠纷、江苏吴江与浙江嘉兴的污染纠纷等,这些纠纷直接影响了当地社会安定。

鉴于我国水污染的严峻形势,进行有效的水质管理和水污染控制及治理已经迫在眉睫。

第五节 水质管理
(Water Quality Management)

我国的水环境当前存在的主要问题有三个:一是水资源短缺;二是水污染;三是用水的极大浪费。20 世纪 70 年代以来,尽管我国在水污染防治方面做了很多工作,但水污染的发展趋势仍未得到有效控制,许多江、河、湖泊、水库的水质仍在下降。我国本来就是一个缺水国家,全国 600 多个城市目前大约有一半的城市缺水,而水污染使缺水形势显得更为严峻。日趋严重的水污染不仅降低了水体的使用功能,进一步加剧了水资源短缺的矛盾,对我国正在实施的可持续发展战略带来了严重的负面影响,而且还严重地威胁到城乡居民的饮水安全和人民群众的健康。

水环境所面临的这种严峻形势,已引起党中央、国务院的高度重视。1996 年全国人大通过的《国民经济和社会发展"九五"计划和 2010 年远景目标纲要》中,已

将淮河、海河、辽河、太湖、巢湖、滇池(简称“三河三湖”)的水污染防治列为“九五”期间我国环保工作的重点。随后,国务院《关于环境保护若干问题的决定》中,进一步对2000年以前我国的水污染防治工作提出了四项具体要求:

①全国所有工业污染源要做到达标排放。

②非农业人口50万以上的城市要多方筹措和集中建设资金,因地制宜地建设城市污水处理设施。

③淮河、太湖要实现水体变清,海河、辽河、滇池、巢湖的地面水水质应有明显改善。

④直辖市及省会城市、经济特区城市、沿海开放城市和重点旅游城市的地面水环境质量,要做到按功能分区分别达到国家规定的有关标准。

4.5.1　我国水质管理和水污染防治工作取得的主要进展(Progress in Water Quality Management and Water Pollution Prevention and Control)

改革开放以后,我国水污染防治工作已摸索出一系列适合我国国情的经验。特别是1994年以来,国家将水污染防治作为环保工作重点之一,把淮河、辽河、海河、滇池、太湖、巢湖流域的水污染治理作为全国水污染治理工作的重点,我国水污染防治工作取得了很大的进展。

(1)初步建立了水污染防治法规体系

自1984年以来,国家颁布实施了《水污染防治法》、《水污染防治法实施细则》、《关于防治水污染技术政策的规定》、《水污染物排放许可证管理暂行办法》、《饮用水水源保护区污染防治管理规定》、《关于防治造纸行业水污染的规定》、《污水处理设施环境保护监督管理办法》、《关于加强水污染防治工作的决定》、《淮河流域水污染防治暂行条例》等12项水污染防治的专门法律、法规、规章和政策,以及《地面水环境质量标准》、《污水综合排放标准》、《生活饮用水卫生标准》、《农田灌溉水质标准》、《渔业用水水质标准》等24种水环境保护标准。

(2)初步形成了一套水污染防治的管理制度

长期以来,我国的水环境管理工作坚持“预防为主,防治结合”、“谁污染谁治理”和强化监督管理的原则,逐步建立并不断完善了环境影响评价、“三同时”、排污收费、限期治理、排污申报登记和集中控制等一系列环境管理制度。自从国务院着手抓淮河流域水污染防治工作以来,结合目前我国水污染形势发展的要求,又逐步形成了一整套流域水污染防治的工作经验,即对国家重点水域,从流域的水污染防治规划抓起,确定水污染防治目标,建立流域性的法规;加强执法,建立环境质量地方行政领导负责制;对重点污染物的排放进行总量控制;对规模小、污染重、经济效益差的企业结合产业结构调整和改变粗放型经营方式实行关、停、禁、改、转;对重点污染源,进行限期治理;加强城市污水的集中控制,改变城市污水处理厂运行的

投资机制等,从而大大推动了我国对工业企业排污量的控制和城市生活污水的处理。

(3)废水治理工作取得一定成效

我国近年来废水治理工作也取得一定成效,可归纳如下:

①工业废水治理情况。到 1996 年底,全国共有废水处理设施 44852 套,其中 40869 套正常运行,削减 COD 386 万吨。

②生活污水处理情况。据统计,截至 1996 年底,我国共建有城市污水处理厂 160 座,日处理设计能力 812 万 m^3,年污水处理量 13.4695 亿 m^3,处理率为 6.7%。

(4)"三河三湖"流域水污染治理取得进展

自从国务院开始抓淮海流域水污染防治工作以来,通过打深井解决了 160 多万人农村口的吃水问题,蚌埠、盱眙和连云港市的城市饮用水备用水源问题也已解决,解除了因水污染没水喝的后顾之忧;关停了 4987 家污染重,治理难度大,经济效益又差的 15 种小企业,其中包括 5000 吨以下小造纸厂 1111 家,限期治理了 413 家污染严重的企业,已完成了占流域污染负荷量 40% 的 COD 削减任务。目前,辽河流域三省(辽宁,吉林,内蒙)、海河流域六省市(北京,天津,河北,山西,山东,河南)、太湖流域三省市(江苏,浙江,上海)和滇池所在的云南省及巢湖所在的安徽省都在按照国务院的部署,完成了流域水污染防治规划(已经或正准备向国务院上报)和立法工作,现正加紧对工业废水和城市污水的治理工作。

4.5.2 我国水质管理和水污染防治存在的主要问题(Problems Existing in Water Quality Management and Water Pollution Prevention and Control)

(1)工业企业治理率和城市污水处理率低

目前我国工业企业的污染治理欠账太多,乡镇企业几乎没有治理,国有企业的治理率也只有 75.7%,达标率为 59.1%,城市污水处理进展太慢,到现在为止,处理率仅为 7%,这是造成我国水环境恶化的重要原因。

(2)环境意识淡薄

对环境保护基本国策的重要性认识不足,常以牺牲环境和资源去求经济增长,这在我国是一个比较普遍的现象。工业企业治理率低,常常是一个造纸厂污染一条河。眼前经济似乎发展了,但水环境和水资源破坏了,实际上是影响了经济的持续发展。

(3)粗放型增长方式尚未改变,结构污染严重

淮河流域的污染是典型的工业结构不合理造成的。这个流域占工业污染负荷 50% 以上的企业是造纸企业,而这些造纸企业又多数规模小,设备落后,治污难度大,大量废水直接外排,给淮河水环境造成了很大压力,其吨产品用水量和排污量

高出国外先进企业数十倍甚至上百倍。

(4)地方未认真执行环保法律,常有决策违法的现象发生

环保执法力量薄弱,监督管理机构不健全,是地方执法不认真的主要原因之一。执法力量薄弱最突出的反映是县一级环保机构力量太弱,甚至没有独立的环保机构,这对监督乡镇企业的治污极为不利。

(5)投入不足,很多污染企业老账未还又欠新账

正由于上述问题的存在,所以尽管我国水污染防治工作有了一套比较完整的法规,但水环境保护的形势依然十分严峻。

4.5.3　水质管理和水污染防治对策和建议(Measures for Water Quality Management and Water Pollution Prevention and Control)

(1)建立和完善环境与发展综合决策机制,实施可持续发展战略

对有关重大经济政策、长远发展规划和区域开发、建设方案组织审议时,应进行水环境影响论证,为党中央和国务院提供决策支持和建议。计划和经济综合部门在制订经济政策、安排基本建设计划时,要综合考虑经济效益、社会效益和环境效益,保护好水环境,保证可持续发展战略的实施。

地方和部门在水资源开发利用中,要进行综合效益分析,提出保护水环境的对策和措施,落实保护水环境、防治水污染的经费。在各行各业推行清洁生产,促进产业结构的调整的经济增长方式的转变。要帮助地方各级政府正确处理环境与发展的关系,从源头控制环境问题的产生,在发展中保护好水环境。

(2)抓紧重点流域污染防治,实施总量控制

“九五”期间,国家重点抓‘三河三湖’的污染治理,到2000年,淮河、太湖、滇池要实现水体变清,海河、辽河、巢湖的水质要有明显改善。今年要采取一切有效措施,确保年底淮河流域所有工业污染企业达标排放,其他流域水污染防治工作也要全面展开,地方各级人民政府也要根据各自辖区的情况,抓住本辖区内对经济和社会发展影响大、污染重的水体作为重点开展治污工作,力争到2000年在水污染防治方面取得明显的成效。

要全面实施由国务院批准的《九五”期间全国主要污染物排放总量控制计划》。按照总量控制要求,在经济比较发达和污染严重、环境敏感地区,新建项目增加的污染物排放量,必须在本企业或本地区进行等量削减,做到增产不增污或增产减污。在地处‘三河三湖’区域的所有企业,要根据流域水污染防治规划中的总量控制要求,必须在规定的时限内先达标排放,再按核定的总量继续进行削减。

(3)加强水环境法制建设,加大执法力度

按照建设社会主义法制国家的要求,要加强水环境法制建设,首先要加快对《水污染防治法实施细则》的修改工作,争取尽快颁布,同时要强化水污染防治的执

法力度。要进一步完善水环境保护行政领导目标责任制,要真正落实江总书记提出的“环境保护要实行一把手亲自抓,负总责,把环保工作摆在党委和政府的重要议事日程”的要求。要有计划地组织环保执法监督检查,加强环境行政监察工作,由环保与监察部门对各级政府执行法律和国务院《决定》及对国务院批准的“三河三湖”规划的执行情况进行检查。要加大宣传力度,提高广大人民群众的环境意识,鼓励公众参与和监督水污染防治工作。

(4)加大资金投入力度,尽快出台优惠扶持政策

为落实江总书记在中央计划生育和环境保护工作座谈会上提出的“要增加对环境保护的资金投入。财税、金融部门要运用税收、信贷手段促进环保工作”的指示,根据“谁污染,谁治理”的原则,各级人民政府特别是企业必须加大水污染防治的资金投入力度,充分运用税收和信贷手段,按照国务院对企业达标排放的时限要求,按时做到达标排放,地处“三河三湖”区域的各级人民政府和企业除要加强工业点源的治理外,还要加快城市污水的集中处理步伐,控制好面源污染,努力实现国家提出的到 2000 年水环境保护的目标要求。

国家在信贷和税收方面亦应采取优惠扶持政策,对国营大中型企业在计划经济体制下形成的污染治理欠账,应有特殊政策,国家每年应直接下达一定数量的环保专项优惠贷款资金,用于支持重点区域的污染治理。

(5)加强城市污水的集中处理

“九五”期间,设市城市特别是非农业人口 50 万以上的城市,都要多方筹措和集中建设资金,因地制宜地建设城市污水集中处理设施,认真解决城市水环境污染问题。到 2000 年全国城市污水处理率要达到 25 %。要完善城市污水集中处理设施建设和运行的管理机制,逐步实现城市污水集中处理设施的企业化管理。

(6)优先保护好饮用水源,强化节水措施

要重点保护好与人民生活密切相关的饮用水源,依法划定生活饮用水源保护区并严格管理。对潜层地下水污染严重的广大农村地区,要逐步通过打深井或外境引水解决人们的饮水问题。国家应加强节水的宣传和教育,提高全民的节水意识,可通过适当提高水价,促进工、农业和生活各方面节水;国家应制定政策和法规,严禁超采地下水,加强对现有机井的管理,尽快划定地下水禁采区、限采区,并报政府后实施。要加强水源涵养地区水土保持工作,积极开展小流域治理,并制定有关水源保护的补偿政策。

(7)完善我国水环境管理体制

目前我国水环境管理体制的基本点是“环保部门统一监督管理,各部门分工负责”。这是法律规定的,也是符合我国当前水环境管理特点的。它对调动全社会的积极性,运用各部门的力量搞好水环境保护工作,发挥了积极作用。但实际工作中,由于部门之间的分隔,存在着统一监督管理难实现,分工负责难协调的状况,同

时跨省的水污染纠纷也往往难以很快解决。为此,建议由环保部门在国家重点江河水系建立强有力的流域管理机构。

(8)加强环境科学研究,为保护和改善水环境质量提供科学理论与方法

当前特别紧迫的是要加强总量控制方法的研究,尽快完善以总量控制为核心的环境影响评价、排污收费、排污许可证等各项制度,并开展排污总量与水环境质量之间的关系的研究。要加强污染对农业生态环境和人体健康危害的研究,提出防治措施。加强高浓度有机废水(如造纸、食品发酵、制药等废水)治理技术的研究及各种节水措施和节水技术的研究,加速发展环保产业,为我国水污染防治服务。

参考文献

关伯仁.1997.环境科学基础教程.北京:中国环境科学出版社

林肇信,刘天齐,刘逸农.1999.环境保护概论(修订版). 北京:高等教育出版社

张自杰.2000.排水工程(第四版). 北京:中国建筑工业出版社

第五章　废水处理工程

废水是家庭、工商企业、各公共单位与服务机构的排水和排水所携带进入的废弃物以及进入到下水道的地下水、地表水和雨水等的总称。

应对废水中所含有的悬浮固体和可溶性有机物进行处理。对于一些特殊污染物如源于生活区的氮磷或者来自电镀行业的重金属,以及各种有毒物质等,往往须进行特别的处理。废水处理的最基本要求取决于有关法规和排放标准以及水体的接受能力和用途。

物理方法主要用于去除悬浮固体。格栅用来拦除各种碎片和其他较大的固体,而重力或曝气沉沙池则去除沙砾等物体,这些物体如不去除则可能会损坏或影响后续的泵以及其他处理设备。重力沉淀通常用来去除较细小的悬浮固体。有时也会利用离心、气浮和过滤等方法去除悬浮固体。

可溶性有机物一般用生化工艺来处理。比较常用的是好氧工艺,这包括活性污泥法、好氧或兼性塘以及滤池等。近来在活性污泥法基础上又发展出氧化沟、A/O、A/A/O、SBR 等工艺方法。浓缩过的废弃物如污泥,或高浓度的工业废水如屠宰废水和酿造废水等则通常考虑用厌氧工艺来处理。

废水处理还有其他许多方法,比如采用各种物化和高级氧化工艺处理一些特定种类的废水,但人们现在对所谓自然法,包括利用塘等水体以及土地等兴趣越来越浓。新的进展包括应用自然的或人工的湿地系统以获得高质量的出水。人们也在尝试各种物化或高级氧化工艺与生化处理工艺的组合。

第一节　废水水质、污染物和对环境的影响
(Nature and Pollutants of Wastewater, and Their Effects on Environment)

5.1.1　废水的水质(Nature of Wastewater)

废水的水质好坏主要表现在其所含有的污染物的种类和含量。一些比较重要的废水污染物以及它们为什么重要的理由见表 5.1。关于这些污染物详细而具体的分析方法可参见 Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (美国)和《水和废水监测分析方法》(中国环境科学出版社)。

表 5.1　废水处理中的重要污染物

污染物		为什么(重要的理由)
物理的	悬浮固体	能导致污泥淤积和形成厌氧状态,难看而有臭味,令人厌恶
化学的	可生物降解有机物	可生物降解有机物主要由蛋白质、碳水化合物和脂肪构成,通常测量其 BOD(生化耗氧量)和 COD(化学耗氧量)。如不经处理就将这些物质排放,那么它们在生物稳定时会导致环境中的氧气的耗尽和腐烂现象的发生
	营养物质	碳、氮和磷是生长所需的基本营养物质,当排入水体时会导致水体的富营养化,当过量排入土地时会污染地下水
	难降解有机物	这些有机物是常规废水生化处理方法所难以降解的,典型的如表面活性剂、苯酚和农药等
	重金属	由于它们有毒,因而对生化处理过程和水生物有负面影响
	溶解性无机固体	生活用水经使用后常含有钙、钠和硫酸盐等,如想再用这些水须把前述无机物去除
生物的	病原菌	废水中的病原微生物可以导致各种传染病

1. 悬浮固体

悬浮固体不仅常常会造成一些视觉上的污染和不快,而且会造成污泥的淤积,以及要消耗氧气。测定废水中悬浮固体的标准方法是用 0.45μm 孔径的滤纸对废水进行过滤。经 103℃的温度烘干后留在滤纸上的可视为悬浮固体。表 5.2 给出了废水中固体的分类。

表 5.2　废水中固体的一般分类

粒子分类	粒子尺寸/ mm
可溶性的	$\leq 10^{-6}$
胶体	$10^{-6}\sim 10^{-3}$
悬浮的	$\geq 10^{-3}$
可沉淀的	$\geq 10^{-2}$

2. 可生物降解的有机物

可生物降解的有机物可以在水体环境中降解,降解时将消耗溶解氧。由于氧在水中溶解度不高,因而当不是有控制地将有机物排放入水体时水中的氧极易被消耗殆尽,于是水体便变为厌氧状态,而厌氧状态的水体不利于很多种类生物的生

存,并且会产生难闻的气味。

一些常见的会导致难闻气味的物质列于表 5.3。碳、氮、硫、氢和磷在好氧和厌氧条件下的最终产物示意性地列于表 5.4。

表 5.3 一些讨厌的气味

化合物	典型的分子式	气味
胺	CH_3NH_2,$(CH_3)_3N$	鱼腥臭
氨	NH_3	氨
二胺	$NH_2(CH_2)_4NH_2$,$NH_2(CH_2)_5NH_2$	腐肉
硫化氢	H_2S	臭鸡蛋
硫醇	CH_3SH,$CH_3(CH_2)_3SH$	臭鼬
有机硫化物	$(CH_3)_2S$,CH_3SSCH_3	烂菜
粪臭素	$C_8H_5NHCH_3$	粪便

表 5.4 好氧和厌氧终产物

在溶解氧存在情况下好氧稳定	在没有溶解氧情况下厌氧分解
$CO_3^{2-}\leftarrow CO_2\leftarrow C\rightarrow CH_4$和 CO_2	
$NO_3^-\leftarrow NO_2^-\leftarrow NH_3\leftarrow N\rightarrow NH_3$	
$SO_4^{2-}\leftarrow S\rightarrow H_2S$	
$H_2O\leftarrow H\rightarrow$有机副产物或 NH_3	
$PO_4^{3-}\leftarrow P$	

人们开发了一些技术和方法用来估测废水耗氧的能力。最普遍采用的是生化耗氧量(BOD)、化学耗氧量(COD)和总有机碳(TOC)测定。BOD 测定是观察微生物在 20 ℃温度下在一组反应器里 5 天降解有机物质情况。通常通过确定置于反应器(或 BOD 瓶)内的样品体积和 5 天里瓶内消耗的氧气来计算废水的 BOD,此时所得之 BOD 称做 BOD_5。如图 5.1 所示,BOD_5 大约为总含碳物质氧化所耗或最终 BOD(BOD_{ult})的 60%～70%。从图 5.1 同时还可看出在约 10～12 天时可能会出现由于硝化作用的耗氧量。

COD 测试是将样品放入含有强氧化剂铬酸(重铬酸盐离子和硫酸)的烧瓶里,样品和氧化剂混合液在炉子上回流 2h 后移去,仍保留在烧瓶内的重铬酸盐通过氧化还原滴定来测定。在测试中用去的重铬酸盐与样品中的 COD 成正比关系,这样所得之 COD 就是通常所说的 COD_{Cr}。另外一种用高锰酸钾测得的值则是所谓的

图 5.1　典型生化耗氧量(BOD)曲线

COD_{Mn}。现在已开发了一些种类的 COD 速测仪,但往往测量精度要差一些。

测量样品中的 TOC 有几种不同的体系,但最常用的一种是将废水样品注入燃烧室里在好氧条件下焚烧。样品中有机碳在这个过程中所形成的二氧化碳可用红外光谱测定。

对上面所述及的耗氧量参数以及其他一些较为重要的相关名词概念列于表 5.5。

表 5.5　耗氧量和有机碳参数

BOD_5	5 天内的生化或生物耗氧量,即废物通过微生物活动的耗氧,通常约为 THOD 的 45%～55%
COD	化学耗氧量,由于废物所消耗的强氧化剂(如铬酸或高锰酸钾),表示为等值的氧,通常约为 THOD 的 80%
THOD	理论耗氧量,理论上将化合物彻底氧化为 CO_2、H_2O、PO_4^{3-}、SO_4^{2-} 和 NH_3所需消耗的氧
TOC	总有机碳,通常约为 THOD 的 30%
BOD_{ult}	最终 BOD,指废物在“无限长时间里”的生化好氧量
DO	溶解氧

3. 病原体

表 5.1 中所列的第三类污染物是病原体。有许多种微生物可导致疾病,其中最常见的列于表 5.6,包括细菌、原生动物、病毒以及肠内病原体。

表 5.6 废水中常见的病原体

疾病	病原体	说明
	微生物	
炭疽热	炭疽菌	孢子,很难处理
杆菌性痢疾(志贺氏菌病)	痢疾杆菌、福我氏痢疾杆菌、波伊德氏志贺氏菌、宋内氏痢疾杆菌	这些疾病主要通过水、直接接触、牛奶、食物和苍蝇等传染
普鲁氏菌病	普鲁氏菌	一般经由被感染的牛奶或接触而传播,废水被视为传播途径之一
霍乱	S 型霍乱菌	第一波流行性霍乱是由水传染的,第二波和地方性的则系经由接触、食物和苍蝇传染
食物中毒	沙门氏菌	通常从废水中分离出
细螺旋体病	细螺旋体菌	下水道老鼠携带
副伤寒	沙门氏副伤寒菌等	少量的爆发是由水传染的
肺结核	分支杆菌	废水可能是传染途径
野兔病	巴斯德菌	主要是由受感染的动物和类人猿传染,但水也是重要途径
伤寒	沙门氏伤寒菌	最主要载体是水和食物,其爆发在时间和空间分布上有一定的模式
	病毒	
肝炎	一种可过滤的病毒,现已分离出	流行主要是经由水、牛奶和食物,包括牡蛎和蛤
小儿麻痹症	小儿麻痹症病毒	实际上这仅仅是能够在废水中发现的一组 100 余种肠病毒中一个例子而已,其他例子包括:柯萨奇病毒、艾柯病毒、呼吸道肠道病毒、腺病毒,以及轮状病毒等
	肠虫类	
几内亚蠕虫病	蛔虫;“怀孕”母虫,1m 长,移居到皮肤层	感染过程包括:幼虫经由人的皮肤进入水中,再在甲壳类的虫子如剑水蚤的帮助下被人类摄取
线虫类病	蛔虫、蛲虫	见于废水出水和用作肥料的干污泥中
血吸虫病	血吸虫	适当的废水处理能使之失去活性
绦虫病	绦虫	虫卵很难杀死。在使用废水和污泥的土地上会对牲畜构成威胁

4. 营养物质

生命体需要多种多样的微观和宏观营养物质,但是废水中最基本的营养需求

是碳、氮和磷。生活废水(主要是指与工业废水相对的产生于家庭和生活的废水)中通常碳比氮多,而氮又比磷多,这也正好与生命所需的各种元素比例相同。另外一种很重要的营养元素是硫。

5. 难降解有机物

难降解有机化学物质也是应该重视的,它们的特点为对生物降解有抵抗性。氯化杀虫剂、含芳基和烃基磺酸盐基团的清洁剂、聚乙烯、聚氯乙烯、氟化烃、氯苯以及 PCBs 等就是较常见的难降解的有机物。

6. 重金属

通常将阳离子其密度大于 5 的视为重金属,所以显而易见废水中含有很多种重金属。由于许多重金属可能是有毒的或致癌的,因而废水中重金属的种类和含量必须予以重视。

7. 可溶性无机固体

因为许多无机盐都溶解于水,所以可溶性无机固体种类繁多。人们可以用过滤的方法来确定废水中的可溶性无机盐含量。首先用 0.45μm 的滤纸对样品加以过滤,将滤出物在 103 ℃的温度下把水分蒸发掉,然后在 550 ℃温度下把有机成分焚烧掉,残留在容器里的物质被视为可溶性无机盐。

8. 有毒有机物

人们非常关注废水中可能会含有有毒有机物。表 5.7 给出了一些被认为是致癌的有机物。

表 5.7　一些致癌物质

化合物	脏器	说明
1. 公认的致癌有机物		
4-氨基联苯	膀胱	联苯胺中的污染物
联苯胺	膀胱	苯胺染料、塑料和橡胶中成分
β-苯胺(2-NA)	膀胱	染料和农药成分,常接触的工人患膀胱癌的机会要大 30～60 倍
BCME	肺	用于生产交换树脂,常接触的工人患肺癌的机会要大 7 倍
氯乙烯	肝	PVC 工人有可能患血管肉瘤
2. USDA-OSHA 致癌物质清单上增加部分		
α-苯胺(1-NA)	膀胱	涉及人类致癌,用于生产染料、除草剂、食品添色剂、彩色膜,以及抗氧化剂
二甲亚胺	未知	动物致癌,用于制造纸张和纺织品,生产除草剂、树脂,以及火箭和飞机的燃料

续表

化合物	脏器	说明
3,3′-二氯苯胺	未知	动物致癌,常与苯胺和 β-苯胺(2-NA)一同出现
CMME	未知	动物致癌
MOCA	未知	老鼠致瘤,皮肤吸入可能是有害的,异氰酸酯聚合物固化剂

3. 对人类具有潜在致癌可能的工业材料

三氧化锑产品	表氯醇	苯(皮肤)	六甲基磷酰胺
苯并	联氨	铍	硫酸二甲酯
氧化镉	4,4-二苯氨基甲烷	氯仿	一甲基联氨
铅和锌的铬酸盐	亚硝胺	3,3′二氯苯胺	双乙磺丙烷
氯化二甲基甲醇	β-丙内酯	1,1′-二甲基联氨	乙烯基环己烯

5.1.2 废水污染源(Sources of Wastewater Contaminants)

将污染物带入水中的途径非常之多,有直接的也有间接的。举例来说,由于工业生产和生活用水把污染物引入水中通常是非常直接的,并且也是很容易被理解的。至于间接途径,情况则复杂得多,污染物的广泛性和传播机制均仍须花大气力去研究了解。一些重要的污染途径也就是最近才被认识到。

图 5.2 全美污染物载荷估计

一些被关注的各种废水成分的来源及有关信息资料见表 5.8,图 5.2 所示为在美国不同来源的一些常见且重要的污染物(如 BOD,悬浮固体,氮和磷)的相对分布。

表 5.8　废水成分的典型来源和效应

成分	效应	典型来源
可生物氧化的,如 BOD_5	消耗氧气,导致厌氧,杀死鱼类,产生异味	大量可溶性碳水化合物,来自:炼糖、做罐头、酿酒、制奶、制浆和造纸
毒性物质:As、CN、Cr、Cd、Cu、Fe、Hg、Pb、Zn	鱼被杀死,牲畜中毒,浮游生物死亡,在鱼和软体动物体内富集	金属清洁,电镀,酸洗,磷和矾土提炼,制氯,生产电池,制革
酸和碱	破坏 pH 缓冲体系,扰乱生态系统	洗煤,钢的酸洗,纺织,化学制造,洗毛,洗衣
消毒剂:Cl_2、H_2O_2、福尔马林、石炭酸	杀死部分微生物,气味与异味	漂白纸张和纺织品,火箭,树脂合成,盘尼西林制备,煤气、焦炭和煤焦油生产,染料和化工制造
离子形式:Fe、Ca、Mg、Mn、Cl、SO_4	改变水性质:生锈,硬度,盐度,结垢	冶金,生产水泥,制陶,油井抽吸
氧化剂和还原剂:NH_3、NO_2^-、NO_3^-、S^{2-}、SO_3^{2-}	改变化学平衡,从快速耗尽氧到过营养化,异味,微生物的选择	煤气和焦炭生产,纺织厂,炸药制造,印染和合成纤维生产,木材制浆,漂白
影响视觉和味觉的	泡沫,可沉降固体,异味,厌氧积淀,油污,老鼠,油脂,水鸟和鱼的伤亡	清洁剂,制革,食品和肉制品生产,糖厂,毛纺厂,家禽屠宰,炼油
致病微生物:细螺旋体、霉菌、病毒等	感染人体,传染牲畜,霉菌污染的灌溉水导致植物疾病,影响人的视力	屠宰场废弃物,毛纺厂,废物处理厂,罐头生产废水

5.1.3　废水污染物的影响(Effects of Wastewater Contaminants)

污染物对于水体系的影响基本上就是所引入的污染物的数量和性质的函数。例如,一小股可生物降解的物质进入一个大的水体后将被迅速吸收,因而只产生很小影响或看不出影响。但是如果有大量的上述物质进入水体系影响就可能完全不一样了,比如说水体中的生物群落的构成和数量会产生很大的变化,溶解氧水平会急剧下降,等等。当可降解的污染物水平(或食物水平)较高时消化速率也较高,反之食物水平下降了或更多的能量源转化到稳定的产物了,微生物降解速率也降低。

在好氧降解食物过程中,微生物将尽其所能地利用氧,如果有机负荷与水体的吸纳承受能力不相匹配,将会使水体中溶解氧浓度降低。另一个消耗水体中溶解氧的重要因素是含氮化合物(见图 5.1 和表 5.5)。在水体环境人们可以见到如图 5.3 所示的各种含氮物质之间的关系曲线。

图 5.3 含氮化合物沿有机污染流向的典型反应

可降解物质与有毒性的物质同样都可能对水体产生致命的影响,这可能表现生物多样性的降低。基于污染物的不同,有些生物的数量可能会增加,而另一些则会减少。图 5.4 显示了污染物是怎样影响水体生物的水平和种类的。表 5.8 给出了一些废水污染物的环境效应的重要陈述。

图 5.4 生物种群数量和种类沿污染流向的变化

第二节 废水特性
(Wastewater Characterization)

废水的特性就数量和成分来说,基本上取决于废水从何而来。废水亦可据其特征概括为生活废水和工业废水,或这两者的混合物。下面我们就分别就这两类废水讨论其一些基本的特点和内容。

5.2.1　生活废水(Domestic Wastewater)

生活废水是指人们在生活中(主要是清洁卫生)而非生产所产生的废水。生活废水,顾名思义,主要产生于生活居住区,但也有部分产生自工矿企事业单位等由于清洁卫生需要所产生的废水。生活废水的特性涉及到所有废水特性描述的两个基本要素:成分和流量。

1. 成分

生活废水的成分主要是指其所含有的物理、化学和生物组分。供给社区的水一般都含有矿物质和有机物,而人们的生活活动又加入了粪便、纸、肥皂和洗涤剂、脏污、丢弃的食品,以及其他物质。一部分废弃物呈悬浮状,另外一些则进入溶液或变成非常细小的胶体。典型的生活废水所含有的物理、化学和生物组分见表5.9。

表5.9　生活废水中物理、化学和生物成分

物理的	化学的		生物的
固体	有机物	蛋白质	植物
温度		碳水化合物	动物
颜色		油脂	病毒
气味		表面活性剂	
	无机物	pH	
		氯化物	
		碱度	
		氮	
		磷	
		重金属	
	气	氧	
		硫化氢	
		甲烷	

(1)物理和化学成分

生活废水中的物理和化学污染物的浓度是很不一样的,主要取决于所处地方。即便是同一种成分的浓度也是一直在变化的,因为每一天人们的活动是变化的,周末和工作日也有差异,不同的季节当然也有不同,故由此而导致生活废水的成分随时间而变化。生活废水中污染物的大致的浓度范围和平均值见表5.10。

表 5.10 未经处理的生活废水典型成分

污染物	浓度/ (mg·L^{-1})(可沉淀固体除外)	
	范围	平均
总固体	350～1200	720
总可溶解的固体*	250～850	500
不挥发的	145～525	300
挥发的	105～325	200
总悬浮固体	100～350	220
不挥发的	20～75	55
挥发的	80～275	165
可沉淀固体,ml/ L	5～20	10
5 天生化耗氧量(BOD_5,20℃)	110～400	220
总有机碳(TOC)	80～290	160
化学耗氧量(COD)	250～1000	500
总氮(N)	20～85	40
有机的	8～35	15
自由氨	12～50	25
硝酸盐和亚硝酸盐	0	0
总磷(P)	4～15	8
有机的	1～5	3
无机的	3～10	5
氯化物*	30～100	50
碱度($CaCO_3$)*	50～200	100
油和油脂	50～150	100

* 数值随生活供水中含量增加而增加。

生活用水过程导致了矿物质含量的增加,在美国由于生活用水导致矿物质含量的增加的有关数据见表 5.11。

表 5.11　生活用水导致矿物质的典型增长

	成分	增长范围*/(mg·L^{-1})
阴离子	碳酸氢盐(HCO_3^-)	50～100
	碳酸盐(CO_3^{2-})	0～10
	氯化物(Cl^-)	20～5
	硝酸盐(NO_3^-)	20～40
	磷酸盐(PO_4^{3-})	20～40
	硫酸盐(SO_4^{2-})	15～30
阳离子	钙(Ca^{2+})	15～40
	镁(Mg^{2+})	15～40
	钾(K^+)	7～15
	钠(Na^+)	40～70
	铁(Fe^{3+})	0.2～0.4
	锰(Mn^{2+})	0.2～0.4
	铝(Al^{3+})	0.1～0.2
其他数据	硼(B)	0.1～0.4
	硅石(SiO_2)	2～10
	总碱度	100～150
	总溶解固体(TDS)	150～400

* 见于报道的全美范围内由生活用水携入值,不包含由工业或商业原因引入的。

不包含生活用水软化剂引入的。

按 $CaCO_3$报道的。

(2)生物学成分

生活废水中的生物学成分主要取决于这些微生物的来源和种类。许多存在于生活废水中的有机物质恰好是一些微生物的美味食品,因而生活废水是不稳定的、生物可降解的和易腐的。

还有一部分微生物来自土壤,因此几乎所有种类的微生物都可在废水中发现。在每毫升新鲜生活废水中约有10^5个细菌,而在每毫升陈废水中则为10^7～10^8个细菌。

废水所含有的微生物中,与环境工程关系较大的主要是:细菌、原生动物、真菌、藻类和病毒。无论在自然界还是在废水处理厂,在分解有机物方面细菌都扮演了非常重要的角色。在废水中所发现的病原性微生物中,细菌是数量最大的,而且是诸如伤寒症、副伤寒、痢疾、腹泻和霍乱等肠道传染疾病的祸首。这些病原菌由感染或携带某种疾病的人排泄出来。鉴于废水中的病原菌很难鉴别并且很耗时

间,所以在分析废水中人类排泄物或病原性有机物时往往利用大肠菌作为指标。

原生动物吃细菌,有利于保持不同种类微生物之间的平衡,所以原生动物在生化处理过程和溪流的净化过程中也是很重要的角色。真菌可以在很低的 pH 下生存,它们在生化处理一些工业废水和堆放固体有机废弃物时可起到很大作用。藻类之所以重要,主要是因为它们在合适条件下能够极其快速地繁殖,在水面上形成茂盛的藻覆盖层。这些藻覆盖层不仅惹人讨厌,而且还会产生难闻的气味等,使得供水质量和价值降低。一些微囊藻所分泌出的藻毒素能够严重破坏水体环境,对一些动物和人类能够引发疾病甚至死亡。

人们有一种日益强烈的担忧——肠道病毒可能以水作为介质传染,而人体排出的病毒可能对公共卫生构成较大的危害。目前有大量的研究旨在对废水中的病毒进行鉴别和定量测定,同时也希望搞清楚病毒在不同介质和处理设施中的迁徙和去除机制。有一个已知事实是一些病毒能够在水或废水中生存约 40 天。已经有许多次传染性肝炎的爆发被追踪溯源到病毒通过给水渠道的转移。

2 流量描述

因为生活废水是生活过程所产生的“副产品”,给定地区废水的产生量决定于该地区所居住的人口以及每个人产生的废水量,故有两个重要因素是在估算该地区平均废水流量时必须加以考虑的:人口和每个人的废水贡献。而且在建立废水流量模型时必须要考虑到废水流量随时间的波动。这些因素对于建立废水的收集与处理的设计基础至关重要。

(1)供水记录

为确定一个现存的废水系统的流量参数,我们建议既要直接现场测量又要查阅有关记录。对于新的系统没有记录可查,那么供水记录可作参考。在利用用水记录时我们须注意有一部分水是真的被“用掉了”,因此供水与排水之间会有一差额。所谓用掉了主要包括水的损耗、蒸发以及其他一些原因导致的损失等。最典型的情况包括渗漏、街道清洗、草坪浇灌、救火等,工业上也有如冷凝和做罐头等消耗。据研究约有 30% 的水属于被“用掉了”,另 70% 则作为生活废水被排入下水道。

由 1970 年美国地理调查所作出的更为详尽的研究表明,在美国公共供水中平均每人每天约消耗 628 升水。该研究报道了 50 个州各社区体系的有关数据,发现差异非常之大,有很多因素影响到用水量,比如:地理位置、气候、社区规模、工业化程度以及一些其他原因。该研究表明须努力获得和分析一特定的地区有关数据,而不能仅满足于引用平均值。中国 1988 年城市人均供水 172L/ d,考虑到生活水平的提高,我国城市居民普遍住进了新房,各种家用电器和家庭卫生洗浴设备日益

普及,现在这个数字可能已达 250L/ d 左右。

(2)人均废水流量

利用上述数据可以得到美国平均每人废水流量为 440L/ d,而中国相应的这个数字约为 175L/ d。但是正如所指出的,没有一个所谓平均值是可以适用于所有社区的。差异不仅仅产生于地理位置、气候和社区规模,而且还与下列因素有关:生活水平、水价、水质、渗漏、水压、量度和系统管理。考虑到上述因素后美国人均废水产生量约在 285～475L/ d,而中国则大约为 80～300L/ d。

根据历史纪录可以很清楚地看出家庭用水的上升趋势和相应的人均废水产生量的增加。现代家用器具,例如,洗碗机、洗衣机以及日益普及的家庭洗浴设施,都是产生这种趋势的主要原因。家用水的持续增加趋势将取决于以下因素:特定社区增加供水的能力,生活方式的变化和生活水平的提高,甚至一些新的家用耗水用具的开发。在美国平均家庭产生废水大致比例为:洗澡和洗脸占 35 % ,厕所 30 % ,洗衣服 20 % ,厨房 15 % 。

如上面讨论的,一些社区的商业和工业机构对生活废水的总量也有贡献。鉴于直接的流量记录不可获得且直接测量亦难以办到,故须利用其他办法去估算这部分贡献。一些机构有住房,例如旅馆,以及一些其他出租房屋等,那么估算可基于住房的数量。至于餐馆,可以根据顾客数或售卖的食品份数。另外一个经常用到的方法是根据有关的机构的水管设施和数量来估算废水产生量。

(3)人口预测

近年来人口估计方面的进展已演变成一门非常严格认真的科学。现在已经可以从地方或省市各级政府的计划部门获得有关数据,而此前环境工程师只能自己建立此类数据。

估算未来人口所需数据可从很多渠道获得,这包括学生数量统计,电话安装记录,电、气、水和下水道等公用事业的有关记录。未来人口趋势影响因素很多,有些是已知的,有些则是未知的。已知的包括:与工人、原材料和产品有关的交通设施;现有工、农、商业的进一步扩张可能性;居住、商业和工业进一步发展的可利用空间;合理比率的其他公用事业服务的可能性;真实的不动产价值。

(4)流量变化

生活废水流量是每时、每天、每月都在变化着。一昼夜的流量变化通常与人的活动周期相关,最低值出现在凌晨 4 点左右,而峰值则大都出现在上午和晚上。变化周期曲线示于图 5. 5。大约每天的废水量约有一半在 8 小时之内进入下水道。

这些峰值通常认为至少相当于平均流量值的 2 倍,但是对于水力设计则最常用的是 250 % 。这主要取决于社区的特性和其生活废水的真正排放量,而没有计入任何暴雨和冰雪融化可能进入的水量。社区下水道系统越小,每时或每天的波

图 5.5 典型废水流量昼夜变化曲线

动越大。系统越大,在所服务的社区所谓“烫平效应”,即消除峰谷差的效应越大。

社区生活的一些因素会放大峰值流量,比如郊区居民生活起居的相对统一——差不多相同时间去工作,生活习惯比较一致,很多家庭做饭吃饭时间也比较一致。曾有在某电视节目热播期间每逢广告则用水量激增的报道。另外一些因素则相反,可以起到补偿峰谷差的作用,例如随机的和频繁的使用洗衣机等耗水的家用电器。

生活废水流量的逐日变化在周末和非周末之间差异明显。这种变化也与社区的生活模式有关系。季节性变化往往在有学生住宿的学校所在的小型社区或者其他一些特殊社区表现明显。气候效应有时也是很重要因素,特别是在有流入或渗漏的情况下。例如一些地区降雨呈周期性,那么雨水流入和渗漏就是值得考虑的重要因素了。

一个社区下水道总流量的变化往往受工业废水排放的影响更大。工业废水排放量与很多因素相关,下面我们就来讨论这些可能导致流量重大变化的因素。

5.2.2 工业废水(Industrial Wastewater)

工业废水源于无数的出于各种目的利用水进行的工业生产过程。美国商业部估计主要工业用水单位每天共约产生 10.8 亿吨废水,而中国据统计废水年排放量已达 620 亿吨,这个数字还可能偏低。图 5.6 示出了美国社会各类废水相对排放量可供参考,由图可见工业废水所占比重之大。美国工厂排放的废水的大约 2/3

源自于冷却。在发电厂这个比例几乎为 100 %;在其他生产行业,这个比例从纺织厂的 10 % 直到甜菜糖厂的 95 %。

图 5.6　美国各类废水相对排放量

除去用于冷却外,水被广泛地用于整个工业的各个生产环节中。用过的水常常会发生极大的变化,可能含有大量的污染物,例如营养物质、悬浮沉淀物、细菌、耗氧物质,以及可能的有毒物质(见表 5.8)。这些污染物会降低水的质量。

由于各门类工业生产过程的极大的差异性,因而不太可能对工业废水特性作统一的描述。各工厂用水量也是差别极大,有的厂每天用水近 20 万吨,而另一些则可能并不比通常一些商业性机构消耗更多。工业废水流量的大小之差是非常大的,影响因素也很多,甚至同一个工厂也会因为例如批次生产和连续生产而导致废水流量变化很大。

工业废水的成分也如同其流量一样各不相同,在很大程度上取决于是什么样的厂。一些常见的较为典型的污染物数据参数列于表 5.12 和 5.13。但是,需要指出的是,即便是在同一工业行业内污染负荷的变化也是很大的,因此工业废水特性的调查描述须建立在每一个单个的工厂基础上。所以本节内容主要是介绍怎样进行工业废水特性的调查描述。

恰当地对工厂废水进行调查,描述工厂废水特性,是开发一种有效的工厂废水处理程序的至关重要的第一步。基于广泛的调查从而获取可靠的数据可视为有效的水污染控制计划的起点。归纳一下,工厂调查具有以下意义:为废水控制和处理提供基础;遵守相关的中央和地方法规以及标准;通过尽可能地减少用水和污染以保护资源;避免废水排放和下水道的不匹配。

表 5.12 美国工业废水排放控制标准参数

参数	工业门类													
	汽车	饮料	罐头	肥料	无机化工	有机化工	肉产品	金属加工	塑料等	纸浆造纸	炼油	钢铁	纺织	奶制品
BOD_5	x	x	x		x	x	x		x	x	x		x	x
COD	x		x	x	x	x		x	x	x	x		x	x
TOC										x	x			x
TOD					x									
pH		x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
总固体	x				x									
悬浮固体	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
沉降固体		x					x							
总可溶固体		x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	
挥发悬浮固体											x			
油脂	x	x		x		x	x	x	x	x	x	x	x	
常规重金属						x		x		x			x	
铬	x			x	x						x	x	x	
铜											x			
镍	x													
铁	x			x	x						x	x		
锌	x			x					x		x	x		
砷					x									
汞				x	x									
铅	x				x						x			
锡	x											x		
镉	x													
钙				x										
氟化物				x	x							x		
氰化物					x	x		x	x		x	x		
氯化物	x			x	x	x					x	x		
硫酸盐	x			x	x				x		x	x		
氨	x			x		x	x		x	x	x	x		
钠				x										

续表

参数	工业门类													
	汽车	饮料	罐头	肥料	无机化工	有机化工	肉产品	金属加工	塑料等	纸浆造纸	炼油	钢铁	纺织	奶制品
硅酸盐					x									
亚硫酸盐										x				
硝酸盐	x			x		x			x	x	x			x
磷			x	x	x	x	x		x	x	x			x
有机氮				x										
颜色		x	x				x			x	x		x	x
总大肠菌		x					x			x				
粪便大肠菌			x							x				
有毒物		x					x		x	x	x		x	x
温度		x	x	x	x						x	x	x	x
浊度		x					x			x	x			x
泡沫		x												
气味											x			
苯酚	x				x	x			x	x	x	x	x	
多环芳烃					x									
硫醇									x		x		x	

表 5.13　一些工业行业的主要水污染物

工业类别		污染来源	污染物的内容和性质
食品	罐头	水果与蔬菜配制	胶体,可溶性有机物,悬浮固体
	奶制品	牛奶稀释、酪乳	可溶性有机物(蛋白质、脂肪、乳糖)
	酿造、蒸馏	谷物、蒸馏	可溶性有机物,发酵淀粉浆
	肉、禽	屠宰、除骨去油、拔毛	可溶性有机物、血、蛋白质、脂肪、羽毛
	糖用甜菜	榨汁、冷凝	可溶性糖和蛋白质
	酵母	酵母过滤	固体有机物
	腌制	石灰水、种子、果汁	悬浮固体、溶解性有机物、变化的 pH
	咖啡	制浆和发酵	悬浮固体
	鱼	加压的鱼,洗涤用水	有机固体、味道
	米	浸泡、洗涤、炊制	悬浮和可溶碳水化合物

续表

工业类别		污染来源	污染物的内容和性质
	软饮料	清洁,溢泄	悬浮和可溶碳水化合物
制药	抗生素	菌丝体、过滤、洗涤	悬浮和可溶有机物
	纺织	纤维脱浆	悬浮固体、染料、碱
服装	皮革	浸泡、洗涤、清洁	固体、亚硫酸盐、铬、石灰、氯化钠
	洗衣	洗涤	浊度,碱,有机固体
化工	酸	洗涤水、溢出	低 pH
	洗涤剂	纯化表面活性剂	表面活性剂
	淀粉	蒸发、清洗	淀粉
	炸药	提纯和清洗 TNT,弹药桶	TNT、有机酸、乙醇、酸、油皂
	杀虫剂	洗涤、纯化	有机物、苯、高毒酸
	磷酸盐	清洗、冷凝废物	悬浮固体、磷、硅石、氟化物、黏土、油、低 pH
	甲醛	合成树脂和印染合成纤维残余	甲醛
材料	制浆和造纸	精炼、洗涤、筛浆	高固体、高 pH
	印相	显影和定影剂	有机和无机还原剂、碱
	钢铁	炼焦、清洗鼓风炉、烟气	酸、氰、苯酚、焦炭、油
	金属电镀	清洁和电镀	金属、酸
	铸造	各种排放物	沙、黏土、煤
	油	钻探、精炼	氯化钠、硫磺、苯酚、油
	橡胶	清洗、萃取提纯	悬浮固体、氯化物、味道、变化的 pH
	玻璃	磨光、清洁	悬浮固体

有两个基本要素是对任何工厂废水做调查均须考虑的:该厂废水管道的物理性能及每一股废水概况。通常在获取每一股废水的流量特性和组成之前须完成该厂废水管道物理性能的研究分析。相应地这两部分基本工作须先后完成,而不是同时进行,当然可能会有些重叠。一个工厂废水的调查内容步骤示意图见图 5.7。

(1)物理特性

工厂废水调查的最通常的起点是研究有关图纸。所有与工厂给排水系统有关的设计规划和示意图均应尽可能地收集齐全并仔细研究。如果不能获得全部的有关图纸,那么就有必要绘制出来。即使有现存图纸,也需要更新。最终须获得反映最新废水管道和供水系统的全部有关图纸。

序程查调水废厂工　7-5图

在获取数据时须将注意力投向生活废水系统、雨水收集和排放设施,以及废水处理排放系统。在许多工厂常把焦点放在将生活废水与工厂其他废弃物隔离措施上以确保不同系统之间不发生交叉。通常这方面的调查须确认清洁的雨水在排放之前未曾污染,而污染的雨水则必须引到废水处理管道去。各个工厂的情况各不相同,但大多数工厂都将把很大一部分时间花在获取数据和信息以便确定下水道参数。

通过研究分析图纸和其他记录,搞清楚工厂的供水系统,以绘出所有用水的工序。每一个生产单元均须研究以确定是怎样用水和排水的。一些生产工序由于化学反应而合成水,而另一些则确实是消耗水的。这部分调查工作将建立厂内真实的废水产生机制,而废水产生机制又构成进一步调查工作的基础。

调查工作的下一步牵涉到实地查证所获得的数据,检查哪些属于不确切的。这步工作是非常重要的,须十分细致以发现所需的必要的信息。这部分实地工作的目的是用‘自己的眼睛”去确认图纸的可靠性,并根据第一手观测所得填补上数据空缺。这些调查包括:进行下水管道图和流程图的更新;确定厂内所有废水的来源;确定单一的或合成的废水取样点;发现雨水、生产废水和/或生活废水的交叉联系;熟悉现有的收集和排放系统,以开展下一步工作。

每一股废水都需要查出来源和去处,或者说从产生处直到最终处理地点。这就牵涉到检查所有下水道检查孔。这样做不仅是为了确认其位置和状况,更主要的是要确认在下水道里的流动方向。为弄清楚每一个系统的废水流向常常采用染色示踪的方法。有好几种化学物质可用作染色示踪,但最常用的若丹明和钠荧光素。钠荧光素是一种吸湿的橘红色粉末,极易溶解在水中,浓度在 0.02 mg/L 就明显可见,而且对鱼无害。这些特性再加上其闪亮的黄绿色荧光,使得追踪下水道中废水流向相对容易得多了。若丹明是很醒目的红色,在一些特定情况下具有优越性。

作为现场调查的一部分须询问整个工厂的所有关键操作和维护人员。他们对一些未能反映在图纸上的细节和现场变化的了解往往对于确定废水管道及其流动模式很有价值。在一些老的工厂,长期工作人员往往是极有价值的有关管道的信息源。但是通过这种方式所获得的数据一般要通过亲自观察和染色示踪来加以确认。

第一阶段的调查将全面地建立工厂下水管道的物理特性,并为构成工厂废水的每股废水的描述提供基础。这也将产生更新下水道和流程图或准备新的图纸所需的数据,与此同时,调查工作将继续进行。最好当实地调查工作一结束就立即着手图纸修订。这样做的好处是现场调查刚结束,人们对此记忆犹新 。

(2)建立废水构成档案

建立对于描述所有废水来源和流动至关重要的每一股废水的‘档案”是任何一

个工厂作废水调查的主要目的,故在此阶段必须非常仔细以确保所获得的数据准确而真实地反映了工厂的实际情况。在进行该步工作时先得“评价”此前的纪录和采样结果。如果此类数据是充分而翔实的,那么将只当要对现存信息更新或确认时现场监测方有必要。但是,假如此类数据不够充分和翔实,那么就有必要在进行流量测量时运作现场监测程序。因为同时进行既方便又省事。

必须仔细研究考虑现场采样的地点、类型、频率和时间。而且最好每道程序均由有经验的人员进行以保证所有样品是反映真实情况的,而这些数据将是确定废水特性包括逐日和季节变化的重要依据。

如何选择要分析的污染参数是非常重要的。其中一个方法是连续数日监测工厂的出水,对之进行“全谱的”污染参数分析测定。这个程序将确认已有的,补上缺失的。然后在检测每股废水时确定各种污染的来源和归属。

现场取样既可手工操作也可自动进行。有三种取样程序可以采用:

①定时采样,即在特定时间某个位置采集一定体积的废水样品,然后加以分析。这种形式的样品不一定能提供确定废水特性所需的准确测量,尤其当废水流是非均匀的或随时间而改变的时候。

②简单复合采样,即在单一的蓄水池批次序列采集等体积的样品。这种程序可以一定程度上给出废水合成随时间的变化。

③流量比例合成采样,即采集与流量成正比的样品。这种形式的样品可以提供废水的“品质”和污染负荷准确的测量。

可以进行所有三种形式采样的自动仪表均已有商品供应。在进行废水调查时这些仪表可以起到很大作用,但是它们在价格、可靠性和供货等方面差异极大。须特别注意采样的准确性,因为采样误差有可能达到真值的 200 %。这主要是因为典型的工业污染物常常有很大部分呈悬浮固体形式,而采样时所带走的悬浮固体应与废水所含有的悬浮固体成比例。事实上一般采样时常常只是把一个吸管放入废水流或将一个开口的采样瓶放入废水流。因为固体的带走与速度相关,所以我们应该力求在等运动条件下取样。完成采样是一个很困难的过程,但是可以借助于自动采样仪,把样品管排成行面向上游方向并固定好位置。

对于难以接近的地方进行人工采样,最常见的是用一根易于装配的可延伸的杆,在其端部配有塞好的瓶子。这个采样瓶应该可以改变角度以便使之与废水流向平行而准确采样,而且还可以在很浅的废水流采样。瓶塞上系有绳子,当调好角度将瓶子没入水中时可用以打开瓶塞。因为采样过程中可能会有很大误差,所以务必仔细选择采样工具和程序。

为特定分析所用的采样量,样品所需加入的防腐剂,分析前的保存时间等是现场采样所需认真对待的几个问题。很重要的规则是:所有样品的采集、保存和分析测试均须与废水采样分析测试的技术方法和仪表等的精度相匹配。美国推荐的样

品容器、防腐剂和最大存放时间汇总于表 5.14。

表 5.14 美国推荐的水/废水样品的容器、防腐剂和保存时间

分析对象		水/废水[1]		
		容器	防腐剂	存放时间/d
生物学	细菌学	B	I	6 h
	毒性,急性的	CU	I	2
	毒性,慢性的	CU	I	2
无机物	残留氯	SM	NA	I
	浊度	SM	I	2
	电导率	SM	I	28[14]
	温度	SM	NA	I
	BOD_5	HP[5]	I	2
	固体系列	HP	I	7
	沉淀固体	HP	I	2
	营养物(N,P)	HP	S/I	28
	氯化物	LP	NA	28
	正-磷	LP	I[7]	2
	可溶磷	LP	S[7]/I	28
	COD	LP	S/I	28
	碱度	LP	S/I	28
	色度	GP	I	2
	油和油脂[2]	LG	S/I	28
	金属	LP	N	180
	汞	LP	N	28
	金属-TCLP	LP	I	360[15]
	金属-EP	LP	I	360[15]
	铬VI	LP	I	1
	氰化物	LP	A[8]/C[9]/I	14
	硫化物	LP	Z/C[10]/I	7
	硫酸盐	LP	I	28
	亚硝酸盐	LP	I	2
	硝酸盐	HP	I	2
	硬度	LP	N	180
	氟化物	LP	NA	28

续表

分析对象		水/废水[1]		
		容器	防腐剂	存放时间/d
有机物	VOCs[2]	V	B[11]/I	14/7[16]
	VOCs-TCLP[2]	V	I	28[17]
	可萃取的[3]	GG	I[12]	47[18]
	可萃取的-TCLP	GG	I	61[19]
	二㶲英[4]	LA[6]	I[13]	75[20]
	乙醇百分比	GG	I	NS
	苯酚	LA	S/I	28
	有机卤化物(TOX)	LA	S/I	28

注:1. 咨询 40 CFR, Part 136, Table Ⅱ-关于容器、保存技术和存放时间的最新要求。

2. 手工简单采样,除非特别指出手工简单采样或复合采样均可以。

3. 包括杀虫剂、除草剂和 PCBs。

4. 向地方实验室咨询最新的二㶲英容器和保存要求。

5. 进行 BOD 多参数测定时用 GP。

6. 为基质定标每个样品须配两个(LA)容器另加 4 个在每个地点。

7. 现场过滤。

8. 仅用于残余 CL_2。

9. 当 pH > 12.0 S.U.。

10. 当 pH > 9.0 S.U.。

11. 对 8 盎司玻璃容器装残留 Cl_2混合样品加进 8 滴 25% 抗坏血酸维生素 C。

12. 对残留 Cl_2混合样品加进 0.008% 硫代硫酸钠。

13. 对残留 Cl_2混合样品加进每升 80 mg 硫代硫酸钠。

14. 如可能的话,现场测试。

15. 共 360 天:其中 180 天萃取,另 180 天分析。

16. 如果没得到保存处理,那么只可以存放 7 天。

17. 共 28 天:14 天做 TCLP 萃取,14 天分析 (但是如果没得到保存处理的话,只可以 7 天分析)。

18. 共 47 天:7 天萃取,40 天分析。

19. 共 61 天:14 天做 TCLP 萃取,7 天溶剂萃取,40 天分析。

20. 方法 8290 指定 30 天萃取,45 天分析。

容器:B—细菌学容器;CU—1 或者 2 加仑的方形容器;LP—1 升聚乙烯容器;GG—1 加仑琥珀色玻璃(特氟纶塞子);V—40 ml 玻璃(特氟纶隔膜塞子);SM—Stormore 500 ml 聚乙烯容器;LG—1 升广口玻璃(特氟纶塞子);GP—1 加仑聚乙烯容器;HP—半加仑聚乙烯容器;LA—1 升琥珀色玻璃(特氟纶塞子)。

防腐剂:A—抗坏血酸维生素 C;B—亚硫酸氢钠;C—NaOH;H—HCl;I—冰(4℃);N—50% HNO_3(pH < 2.0 S.U.);NA—不用;S—50% H_2SO_4(pH < 2.0 S.U.);Z—醋酸锌;

存放时间:除非特别指出,否则均为天。NS—不指定;I—立即(15 分钟之内:40 CFR 136 Table Ⅱ)。

运输须知:当样品须由普通运载工具或美国邮政传送时,须遵守美国交通部有害物品条例(49 CFR 172)。托运此类物品者有义务保证遵守规定。对于 40 CFR, Part 136, Table Ⅱ中所列的保存要求,交通部

物品运输署危险品办公室指出有关有害物品的规定不适用于下列物品:按质量分数≤0.04%的 HCl 水溶液(pH 为 1.96 或更大);按质量分数≤0.15%的 HNO_3水溶液(pH 为 1.62 或更大);按质量分数≤0.35%的 H_2SO_4水溶液(pH 为 1.15 或更大);按质量分数≤0.08%的 NaOH 水溶液(pH 为 12.30 或更小)。这个注脚系完全引自权威性的 40 CFR 136.3。

样品的分析测试同样也牵涉到一系列细致的考虑。许多工厂有它们自己的实验室或有协作关系的实验室。在这种情况下就要考虑是用工厂的实验设备还是送到一个没有关系的独立实验室。需要考虑的因素包括工厂实验室的人员和设备条件,亲近程度,独立实验室的能力和价格。另外一个重要因素是客观性,从这个角度来说最好是由独立实验室给出所有要报给有关执法和监督部门的数据。

如果已决定由独立实验室来承担有关工作,那么选择一个合适的质量可靠的就是最重要的事了。实验室内部的质量控制必须认真确认以保证结果的准确和可重复性。检测一个实验室的准确度的方法是提供一组预先分析过的样品给该实验室分析。在美国这些"带刺的样品"是美国国家环保署(EPA)10 个地区分析质量控制站为感兴趣者制作的。

分析结果须仔细研究估价以保证数据是准确的能反映真实情况的。变化既可能是由于工厂环境条件的波动引起的(生产工序的临时性改变,条件的不稳定,差劲的内部管理,等等),也可能是由于采样、分析或计算时产生的误差。

可疑的结果须到实验室去再鉴定和确认。如有必要可以再取样以验证原先的结果。当这些做完后并且有充分理由相信其准确性,那么就可以对之进行清楚而系统的总结。

(3)建立废水流量档案

对每股废水进行准确的判定涉及到对在厂内用水情况作一广泛而全面的估计。该工作最好通过用水计划分析或厂内水平衡分析来完成,因为这将搞清楚厂内各部门和生产工序的用水需求,并且可以对用水量和现场实测所得作比较。

通常,水平衡分析的一个理想的起点是对工厂用水和水消耗的记录的审查。如果该厂是由市政或供水公司供水,那么按月或按季的水费单据将提供工厂总耗水的基础。如果是直接采用井水或地面水,那么通常引入多少水也是有计量的。应该好好研究分析至少数年的此类记录,不仅希望由此得到平均日用水量,而且还要从中分析出趋势、季节性变化或其他一些比较重要的因素。

有许多工业设备可用来计量厂内的主要生产单位或其他重要用水大户的供水。这种记录对于弄清楚水分布模式非常有帮助。供水系统图纸必须予以查证并实测加以确认以得到用水的全面情况。一般地有必要进行现场测量和评估以确定每股水的数值。

有许多方法可以在得不到记录或流量测定仪表时去估算流量。最常见的如:设备的定额,水罐的规格,生产分析,包括现场目测也可以用来估算特殊的流量。

在估算间歇型用水单位总用水量时须注意生产运行周期。须小心细致求值以保证所得到的有关每个用户情况是真实的。

在大多数情况下,需要进行现场测量总进水量以得到明确的用水量或验证此前的估计。尽管这样做有些麻烦并耗费时间,但就可以获取准确数据来说还是非常有意义的。

当水平衡的这一步完成时,就应该进入准备一份工厂用水汇总表的阶段了。汇总表应该是简明的,但仍然可以为每股进水的全面建档提供足够的具体详尽的数据和信息。用这种方法所获得的全厂总用水量应该与根据水表或水费单据所得之全厂耗水很好地一致(误差小于 10 %)。如果有很大的差别,那么进一步的现场工作就是必须的了。

作水平衡分析的下一步就是要确定每股废水进入下水道的数量。这个步骤应不仅包括排入生产废水下水道的,同时也应包括通常直接排入生活废水和雨水下水道的每股流量。每股废水的流量数值通常并非容易得到,所以常常借助于现场实测和估算。一些工厂,特别是其废水排入公共处理管道系统的往往在排放之前有流量监测。在这种情况下,可以对记录加以鉴定从而得出有代表性的平均值和峰值,并进一步据此以验证总废水排放量。

如同确定每股供水流量一样,确定废水流量也需要注意细微之处和具有灵活性。做进一步现场测量之前,最好要在先前的现场测定基础上制定好一个程序,包括准备测量的地点、频度、什么型号的流量仪表和估算方法。这个程序的格式要先搞好,那么获得数据之后即可按条目登录,于是废水汇总表也就自动生成了。

在现场确定真实废水流量牵涉到许多与生产有关的因素。由于生产条件原因而导致流量的变化是十分重要的因素,因此就要在调整好监测的类型、频度和持续时间的基础上确定是批次生产还是连续生产,是季节性还是每天生产,以及生产周期和种类。

为避免因为安装监测仪表而对管道“大动手术”,从而导致费用昂贵,就要尽可能采用一些灵活的因地制宜的方法。这方面的参考文献很多,而且很详尽。市场也有可用于工厂废水调查的可以给出较为理想准确数据的自动流量测试仪供应。

可以用来确定废水流量的方法汇总于表 5. 15。一般来说,技术方法的选择在很大程度上取决于是否容易接触、设备、管道的结构特性和水力学特性(例如:自流管,还是开放式的沟道,等等)。对于管道开放端口的相对较小的流量,用定量容器和秒表就可以了。知道了容量和注满的时间很容易算出流量。如果自流管是全截面流动的,那么可以用与压力管类似的方法用小孔测流计或喷嘴流量计确定流量。如果管道中废水流动是部分截面的,那么可以用开放管或加利福尼亚管方法,或者直接用一个开放喷嘴流量计。

表 5.15 流量测量技术比较

方法	应用*	说明
文丘里表	A	当需要高压恢复时可以应用
小孔测流计	A,B	相对来说不贵,易于安装,但水头损失大
喷嘴流量计	A,B	比文丘里表水头损失大,但费用省;比小孔测流计水头损失小,但费用贵
磁力流量表	A	适用于测量含悬浮固体的流体,不比相同长度的管子水头损失大
空速管	A,D	对大管子显得经济,可以测量开放式沟渠的速流
转子流量计	A	一种简便而不昂贵的仪表,可以测量较低速的清澈而干净的流体
开放端管道法	B,C	一种近似的便宜的通过测量开放式管道自由排入空气的束流的两个面积而估算流量的方法
加利福尼亚管法	C	需要已知直径的垂直自流管道,测量从管子的顶部到水面的距离
开放式喷嘴流量计	C	两种基本型是 Kennison 小嘴流量计和抛物线斜槽,可作准确和连续测量
溢流堰	D	易于安装,便宜,V 型槽、Cipolleti 或直角式设计,沉积物可能会积聚在溢流堰后面并影响准确度,用得较为普遍
量水槽	D	比溢流堰要准确,自净,Parshall 或者 Palmer-Bowlus 设计,上向流影响很小,但易受洪水影响
测量水流深度法	D	当坡度和粗糙系数已知,利用 Manning 公式通过测量深度而估算流量
连续性方程	D	用流速计或根据两点间示踪物的流动耗时确定流速,并测量流体的深度以计算湿截面积,从而得出流量
定量容器和秒表	B,C	使用已知容积的容器,记下充满时间即可算出流量。适用于人员可接近的小流量情况
泵速率	A,B,C	根据厂家给出的在已知排水压条件下的泵流量和工作时间测算流量
罐水位变化	A,B,C	根据一定时间内已知容积的罐体内水位变化计算废水流量,适用于批次生产情况
稀释法	A,D	加进一定量的染料、盐或镭于水流,测定流量,监测仪表昂贵

* A = 压力管;B = 满流自流管;C = 半满自流管;D = 开放沟道。

最普遍的测量下水道或开放式沟道中流量的方法是溢流堰或量水槽,它们可以阻碍自由流动的水流,在放置溢流堰或量水槽处的上游的一定距离测量水位,从而得出流量,因为流量正比于水的深度。在作工厂调查时使用这些设备须进行临时安装,而配置连接好流量记录仪将可能在给出流量和模式方面大有助益。其他用来测量下水道中水流量的技术包括流量计和空速管,液体深度和速度测量,以及化学稀释法。相关的观测如罐体液位变化、泵流量、持续时间等也常被用来估算下水道中的流量。

除了确定每股废水的流量,如果没有进行常规监测的话,整个工厂的出水也需要进行监测。工厂出水的平均值需要与汇总表所得之总耗水量进行比较。正如供水情况一样,这个比较的差值如在 10 % 以内是可以接受的。如果出现很大的差

值,那么有必要挑选一些厂区部分进行再确定。

所有现场测量和估算都已完成后,水平衡分析的最后一步是比较供水量和废水流量。进行该程序时,所有的用水或厂区内的损失都须有个修正量,以尽可能得到一个真正的平衡。典型的工厂水消耗应该包括:生产用水,冷却塔的蒸发和风吹走,锅炉补给,浇灌草坪,供水系统的渗漏等。对于旧式设备在考虑废水与供水平衡时下水道的渗漏进入量也须计入。最终的水平衡应该提供准确的汇总,并且将所有厂内的水消耗均计入,这对达到工厂废水调查的目标是非常重要的基础。

健全每股废水的档案的最后一步是对数据进行统计分析。统计相关性将允许一个适当的平均值选择,并且提供一个确定参数数值范围的正确方法。一般来说,平均值和变异范围是开发一个废水管理计划最感兴趣的数值。这方面的信息应该是充分的,可用以提供一个针对每股废水流量控制、生产的改变、再循环、隔离废水和评估替代方案的判断基础。但是峰值的考虑和概率估算如 50 % 和 90 % 等也无庸置疑的对于设计一个废水处理装置是有用的。任何一本统计学的书和有关文章都可对这种类型的数据分析有参考作用。

(4)利用调查结果

就广义来讲,调查结果可以用来制订一个厂内废水管理计划和开发一个如图 5.8 所示的工厂废水控制和连续监测计划。正如开头所指出的,一个深入彻底的工厂调查常常会获得很多此前所不知的有关用水和产品以及原材料损耗方面的有用信息。这些数据可以对节约用水很有帮助。开始的着眼点应该放在对每股废水作一彻底的评价以探究减少用水和降低污染负荷的各种可能性。往往可以在尽可能少中断生产的情况下对生产工艺作些调整,而这些调整可以大大减少用水和排入废水的污染物。在很多时候,如果主要的污染负荷被隔离,那么水的再利用就变得明显可行了。最后,把下水道之间的一些交叉去掉,使废水互相隔离,这样也有可能减少开支。

如果废水处理是必须的,那么调查结果将很系统地提供待处理的数量。在考虑集中处理之前可以研究分析一下每股废水分别处理或含有相类似污染物的一组废水先行处理的可行性和优越性。因为在被下水道中其他废水稀释之前可能需要处理的对象在数量上和体积上有可能非常小,所以单独先处理也许很合算。在任何情况下,工厂调查所得之数据都将是评估替代处理方法的基础。将废水数据和可适用的排水法规作一比较可以为设备的初步的设计选择提供帮助。

当厂内的废水情况都已搞清楚,废水管理计划也已制订好,就可以将所需的信息提交给有关管理机构,完成计划所需的费用概算也就可以得出了。

利用工厂调查结果的最后一个方面是开发一个连续废水监测和控制程序。付出很大人力物力而完成的深入彻底的调查不应该是用过即扔的,而应该视为厂内废水控制的连续计划的开头。这样一个计划不仅要求管理部门的重视,提供所需

用利的查调水废厂工 85图

经费,而且也需要全厂员工人人皆具环保意识和合作。我们应该强调这个事实:废水监测和处理实实在在是工厂运行的一个有机组成部分。生产和操作人员应该被鼓励去认识到他们的废物负荷的变化是评价他们工作单位和部门的总体表现的一个因素。

废水控制和污染的消除不仅取决于处理设备的运行和监测设备的表现,而且也取决于厂内员工的知晓、态度和关注。

第三节　废水收集
(Wastewater Collection)

废水送入废水收集管后由于重力作用进入截污管。在某些地形情况下,废水收集管可以排入泵站,泵站将废水通过压力干管输送到另一海拔更高的集水管或截污管。最终,收集系统把废水传送到废水处理厂。

地下水渗透和雨水流入也会占用收集系统容量,所以雨季时系统流量可能会显著增加,有时会导致泵站或处理厂的超负荷,或者导致生活废水溢出。因此有必要对渗透和流入进行研究以找出问题发生地并确定恢复措施。

图 5.9　生活废水下水道系统布局图

典型的废水收集管直径为 8～12 英寸(20～30cm),沿街布线,设计峰值流量约为预期平均日流量的 3～4 倍。截污管一般地要大一些,常沿河谷和溪流分布,设计峰值因子约为 2.5～3。泵站和承压干管根据峰值条件设计。一个有典型代表意义的生活废水下水道系统布局示于图 5.9。

5.3.1 水力学设计(Hydraulic Design)

位置和地形调查后,将废水下水道管线绘于平面图上,地面高程绘于剖面图上。须有进一步的高程数据以确定设计限制条件,比如河床的底部、公路和铁路建筑、下水道废水送入管道的高程等。

1. 重力下水道

获得了所需现场数据并确定了设计流量后,便可开始人工或计算机辅助计算排布最小为 8 英寸的管道,在剖面图上垂直定位重力下水道。表 5.16 示出了下水道管线设计计算的方法步骤。如果已知设计流量计算涉及到几个可预知的部分,那么就可能要求分别计算(见表 5.17)。

表 5.16 下水道设计计算表

	内容
检查孔	开端
	尾端
	长度
设计流量	最小
	平均
	最大
	坡度
	直径
	全容量
速度	最小
	平均
	最大
下游高程	管道内底
	地面
上游高程	管道内底
	地面
挖槽深度	下游
	上游

表 5.17 设计流量计算表

	内容
生活	最小
	平均
	最大
商业	最小
	平均
	最大
工业	最小
	平均
	最大
渗透	最小
	平均
	最大
上游	最小
	平均
	最大
总计	最小
	平均
	最大

(1)坡度

在流量很小的情况下重力下水道的坡度要足以提供一个最小速度: 0.3 m/s。当管内为满管流动时典型的设计是要求提供一个最小为 0.6 m/s的流速。考虑到下水道内水力学的原因,最大速度应该不超过 3 m/s。

当下水道内废水在 0.6 m/s速度下满管流动时,对于管径在 20～91 cm 的下水道,其最小坡度示于表 5.18。如果坡度在两个型号之间,应选择大型号。

表 5.18　最小下水道管线坡度

下水道尺寸		最小坡度
英寸	cm	/(m/100m)
8	20	0.40
10	25	0.28
12	30	0.22
15	38	0.15
18	46	0.12
21	53	0.10
24	61	0.08
30	76	0.058*
36	91	0.046*

* 实践上重力下水道管线建设的最小坡度是约为 0.08。

(2)流量

Kutter公式曾有许多年被用来计算下水道的开放式沟道(明渠)流量。在实践中,大多数工程师往往适用较为简单的 Manning 公式,其 n 值基本与 Kutter 公式的相同。计算流速的 Manning 公式为

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \text{(国际单位制)} \tag{5.1}$$

或者

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \text{(U.S.习惯单位制)} \tag{5.2}$$

式中: V 为平均速度; R 为水力半径; S 为能级线坡度; n 为粗糙系数。

粗糙系数与管道材料、管径、流体的深度、接头处的平滑程度以及其他因素有关。设计新下水道时,管道的材料,或者管道的衬里,常用来选择 n 值。表 5.19 示出了普通下水道材料的 Manning n 值范围。通常会取 n 值为 0.013 用于下水道设计。

表 5.19 Manning n 值范围

管道材料		Manning n 值
石棉水泥		0.011～0.015
砖头		0.013～0.017
黏土		0.010～0.015
混凝土	新的	0.011～0.015
	整体浇筑的	0.012～0.017
铁	新的	0.012～0.016
	水泥衬里	0.011～0.014
塑料		0.010～0.015
钢	焊接的	0.010～0.014
	黏合的	0.013～0.017

在计算时,可用列线图或滑动尺来求解 Manning 公式。

2 承压干管

对于承压干管(承压下水道),速度是最基本的设计因素。速度基本上取决于管道材料。对于平均日流量常用的典型设计速度是 0.6 m/s。最大速度为 2.4～3.6 m/s。

Hazen-Williams 公式常用于承压干管设计。其速度公式为

$$V = 0.85CR^{0.63}S^{0.54}(\text{SI 单位}) \tag{5.3}$$

或者

$$V = 1.32CR^{0.63}S^{0.54}(\text{U.S.单位}) \tag{5.4}$$

式中:V 为平均速度;C 为粗糙系数;R 为水力半径;S 为能级线坡度。

Hazen-Williams C 数值随材料的变化示于表 5.20。C 值还与建筑形势和管道的年龄有关。在正常服务期间通常设计实践中当承压干管无衬里时取 C 为 100,有衬里时取 C 为 120。

表 5.20 Hazen-Williams C 值范围

管道材料	Hazen-Williams C 值	管道材料	Hazen-Williams C 值
石棉水泥	120～140	铁*	100～130
黏土	100～130	塑料	130～140
混凝土*	100～140	钢	110～120

* 对于衬里管道的范围上限。

5.3.2　系统构成(System Components)

所有的下水道系统都包括出户连接和检查孔。其他的系统构成包括泵站、河流和管道交叉,以及饮用水保护设施等。

1. 出户连接

这些连接管线从住宅、商业设施,或者工业企业传输废水到下水道。这些管线大多安装在 2 % 级,用 4～6 英寸(10～15 cm)或更大的管子。对于从房屋接出来说,1 % 级是最小的。

Y 型和 T 型连接有时被用于小型收集下水道。它们可以用于当已有的发展可以确定这些管线的位置或根据将来发展规划可以预期位置的情况。Y 型和 T 型装置也可用来替换已有的部分下水道,T 型鞍座或 T 型嵌入可以接入现存管道。这是可以提供好的出户连接和防止渗漏目的被青睐的方法。

2. 检查孔

正确设计和维护的检查孔对于一个实用的下水道系统是一种基本需要。在所有坡度、管径、线列、交叉口等发生变化处和下水道的末端均须安装有检查孔。通道的最小空间随管径而改变。典型检查孔设计数据示于表 5.21。

表 5.21　检查孔设计数据

	参数	典型数值
最小距离	≤38 cm	120 m
	48～76 cm	150 m
	≥92 cm	无定值
最小直径	基座	122 cm
	通道	56 cm
最大转弯	≤60 cm	90°
	70～120 cm	45°
	大的管道或转弯	特殊处理
台阶	最小宽度	30 cm
	间隔	30～50 cm
框架	高度	15～30 cm
	质量	115～230 kg
盖子	质量	45～70 kg

近些年来,随着对渗透控制的要求,以及砖石建筑的安装费用和耗时的增加,砖石建筑的统治地位方告打破,目前预制混凝土检查孔已被普遍采用。

3. 泵站

在废水收集系统中,泵站(也叫提升站)把废水提升到较高处以使其能够在一定坡度时利用重力而流动,或在不同重力排水区域之间输送废水。泵站可建在适当的地方或作为一揽子工程的一部分提供。

泵站的承压干管系统通常都用离心泵。气动喷射泵据认为适合于小型泵站,而如果仅考虑现场提升的话,则螺旋泵也是可以考虑的替代者。

有很多种离心泵可选用于废水泵站。大多数时候泵站是设计成湿井-干井结构,除非采用的是潜水泵。湿井用于接受废水流量,底坡为 2:1。干井则是安放泵和电机的地方。通风、湿度控制(干井)和备用电源是泵站重要的设计考虑。

对于小型泵站(规模小于 3800 m^3/ d)至少要配备两台泵。对于大型的泵站,则应配备 3 台以上的泵。但是不管是大型的还是小型的泵站,都必须保证当某一台泵停止工作时泵站仍应能够承担处理最大流量。

为防止阻塞,副泵的抽、排水管道直径均须不小于 4 英寸(10. 2 cm)。而且泵必须能通过 3 英寸(7. 6 cm)直径的固体。特别是对于一些特殊的下水管道,格栅或切碎器须配备以防止泵阻塞或毁坏。

4. 河道穿越

为最大限度地利用重力输送废水,很多下水管道都被设计成平行于河道。如非穿越不可,则尽可能地在保持坡度条件下垂直地穿越。下水管道须设计位于河床底下足够深度以保护管道。

5. 架空穿越

有些时候地形和设计的实践经验使人想在河流或沟谷的地面上采用架空穿越的方法,这些主要应用于重力管道和承压干管。

墩桩(管桥)被设计用来支撑管道的接头以防止洪水毁损、冰冻胀裂、急剧转弯和沉降。

管道的绝热和/ 或增加坡度可以防止结冰。在地上和地下的管道之间须用可伸缩接头连接。如果用伸缩接头与某些建筑,例如桥梁连接,那么管道的伸缩接头须与之匹配。

6. 下穿污水管

为重新获得高程,下穿污水管(也叫倒虹吸管)可以用来输送水流从河道或地

道等障碍物底下穿过。因为维护和清洁很困难,所以尽可能地少用下穿污水管。

7. 饮用水保护

很显然,污水管线应该远离水井和其他饮用水源,以及水输送管道。当对水源或输水总管的接近是无可避免时,那么以下关于重力下水道和承压干管的一些指导方针须得到遵从:

①用压力型下水管道。

②下水道和自来水总管不用同一个管沟。

③在管线之间至少要有 3 m 的水平隔离。

④下水道管须至少在输水总管之下 0.5 m。

⑤交叉管线最好尽可能地垂直。

⑥当难以很好地保证水平和垂直隔离时,可将下水管道安装在混凝土内以尽可能地给予进一步的保护。

⑦当下水管道与输水总线有可能混淆时须加标识。

5.3.3　下水管道材料(Sewer Materials)

对于重力和压力管来说是可以对管道和接头材料作评估的。在某些情况下,为防止内外腐蚀,须采用特殊材料。有很多种材料曾经并正在被用于下水管道。我们下面讨论一些最常用的材料。

(1)石棉水泥管

可用直径为 4～42 英寸(10～107 cm)的石棉水泥管作为重力或压力管道。这种管子具有质量轻、易安装、接头紧、长度长和较宽的强度范围等优点。但是石棉水泥管易受酸的腐蚀,故须加保护衬里。

(2)陶土管

玻璃化的陶土可制成直径为 4～42 英寸(10～107 cm)、长度为 3～6 英尺(90～180 cm)的管子。这种管子广泛地用于小型和中型重力管道。由于其化学惰性,因而不怕酸碱的内外腐蚀。但陶土管子也有缺点——低强度和易碎。

(3)混凝土管

取决于用途,混凝土管子可以做成不同的强度和不同的形状,例如圆形、椭圆形、拱形等。影响强度的因素包括混凝土本身的强度、管子的壁厚、所用的衬里、加固的材料和/或基础等。最典型的是预应力管和加固管,它们的直径分别为 40～360 cm(16～144 英寸)和 30～360 cm(12～144 英寸)。混凝土管也可满足压力管道和重力管道的要求。主要缺点是在酸性(包括有硫化氢)条件下须防止内外腐蚀。

(4)铁管

对于易受毁损的干管和重力管道,例如在架空部分和河流穿越,通常用铁管。这种管子的直径可从 2～48 英寸(5～122 cm)。铁管具有一些特殊的优点,例如接头紧、长度长、外部荷载大和压缩抗性等。尽管在强酸条件下也要采取加衬里等措施,然而铁管的抗腐蚀性还是强于混凝土管。而且铁管可以制成各种长度、厚度、等级和强度。在大多数情况下,可延展的铁由于其较高的可延展性、强度和抗撞击能力,取代了铸铁用于新下水管道的设计。

(5)塑料管

比较典型的是聚氯乙烯(PVC),可以制成直径为4～15 英寸(10～37.5 cm),长度为 10 英尺(3.2 m)。由于具有质量轻、接头紧、长度长、抗腐蚀等优点,这使得塑料管常常被考虑用来替代石棉水泥管和陶土管。需要侧向支撑和较薄的壁厚是塑料管的缺点。经由热处理制造的构架管,其特性与 PVC 固体壁塑料管相似。

5.3.4 接头(Joints)

管道的接头对于保持水压的连续性、污水管线的整体性,以及防止渗入等均有重要意义。最基本的决定其表现的影响因子是接头的性能和安装质量。至于管子自身,则主要是对垫圈和包装物的腐蚀。接头的种类非常之多,但我们只在下面讨论最常用的一些。

对于石棉水泥管子,常采用套环接头。这种接头用两个橡皮圈把两个嵌入的套管封住。这种接头的水密性能非常好,很适合于干管。

压缩,或推进式接头用于玻璃化的陶土管。具体做法是把一种塑料材料铸入套管和漏斗口,用橡胶压缩环(O-环)做封。这样可以提供一个很紧密的封线,并且仍然还有一些弹性和抗剪切载荷的能力。尽管可能并不常见,但有时也用套环接头。

一些可用于混凝土管的接头包括:

①水泥灰浆或胶泥,这些接头是否坚固和水封性好,主要取决于工作者。

②具有或不具有反向肩的压缩型橡胶垫圈,这些接头适合于重力管。

③带反向肩的 O-环型垫圈,这些接头适合于重力管和干管。如套管为 O-环垫圈预备好刻槽,则可为干管提供高压接头,或者当渗入必须予以考虑时将成为重力下水管道设计的一个重要因素。

对于延展型铁管,也有一系列接头可以使用,包括:

①推进(压缩 O-环)型。这些接头适用于重力系统,并且安装费用低廉。

②机械型。这些接头主要用于干管。

③球型。这些接头用于潜没在水中的管道,并且可以无转向偏差。

焊接或黏接技术被用于塑料管的连接。对于其他管子,检查孔连接或者例如

穿越河道时管材变化均需要特别的设备安排。

下水管道可能会受到酸性或碱性工业废水或硫化氢等导致的内部腐蚀,也可能受到非中性土壤从外部的腐蚀。陶土和塑料管材具有很高的抗腐蚀性,延展型铁管也对腐蚀有抗性,只是不那么强。因此在可能导致腐蚀的环境可以优先考虑采用这几种管子。

对于石棉水泥管、混凝土管、铁管和钢管等就要考虑采取防内部和外部腐蚀措施。一些防腐蚀技术列于下面:含沥青或煤焦油产品;乙烯基或环氧树脂;塑料化的 PVC 片;水泥衬里;聚乙烯衬里。

对于混凝土管子,还可以考虑用Ⅱ型与Ⅰ型普通水泥;特别增厚管壁;白云石或石灰石混凝料。后一种选择须对特别的混凝料供应进行特殊的检测。

5.3.5　下水管道溢出(Sanitary Sewer Overflows)

下水管道溢出(SSO)是指未经处理或未经完全处理的污水从管道系统排出,或者流量超出收集系统的容量发生的溢出。有多种原因可能导致发生 SSO,例如管道阻塞、超载从检查孔盖子溢出、流出口的溢出,等等。在旱季偶尔也会发生溢出,但大都发生在雨季,例如渗入或流入导致下水道系统的超负荷。渗入和流入将在本章的后面详加叙述。

要剖析 SSO 问题,牵涉到需要做一系列的鉴定和评估,例如废水设施的设计和建设,还牵涉到现存的设备的“复原”,以及维护和运行程序。更进一步的工作包括:水质评估、收集系统监测和模拟、渗入和流入研究、下水道调查、下水道系统复原设计和建设服务、放泄设备的设计(包括管线,泵站,附加处理设施)、雨季储存和处理设施的设计等。

1. SSO 问题

SSO 被重视,是因为其一系列的可能对健康、水质和经济利益的不利影响。未经处理或未经完全处理的废水排放,由于携带病源微生物,可能会威胁到公共健康。SSO 通常会发生在一些有可能接触原污水的地方。例如,SSO 可能是底层泛滥或发生在其他一些人们可能接触的地方。其他一些高发地段包括街道和居民区的小型排放沟道。

SSO 也会对接受水体水质产生负面影响。不仅是前面所说到的病原体,原污水也含有可以影响耗氧量的污染物和能够影响水质和水环境的毒素。其他可能对受体的影响包括:损害其使用,例如一些浴场的禁止使用,营养负荷的增加往往会导致富营养化。因为原污水还会携带其他污染物,例如油脂和悬浮物等,所以会影响观赏价值。

SSO 第三方面的负面影响是会造成财产损失和经济活动的减少。收集系统超

载可能会通过一些设备倒灌进入底层,从而造成破坏。而且泵站也会泛滥,当流量超过泵的容量时就会损毁机械和电子设备。海滩的关闭和水体观赏价值的降低会使得经济活动减少,包括旅游和会议。有关管理部门强制行动包括罚款和延迟连接管道等,可能会限制经济的增长和发展,最终大量的法律或经济资源将会用在与有关部门的诉讼上。

2 SSO 源

当流量超过泵的能力时就会使得污水的收集与传输系统过载。如果水力级线升高到系统向环境开放的水平,那么这种过载就可能导致产生 SSO。可能发生 SSO 的地方包括家庭、街道或附属建筑物的检查孔盖子、通向接受水体的溢出装置和雨水下水道等。构筑于分流式污水系统的消溢出设施主要是旨在减少财产损失和健康风险。超载的下水道也有可能会使污水通过接头流出到地下水中去。

如果流量超过了泵站的容量,那么下水道系统就可能会在泵站溢出;如果流量超出了下游设施的承受能力,那么下水道系统就可能会使得污水处理厂发生溢出事故。可以考虑建溢出消减设施以减少泵站和污水厂发生溢出而导致的对设备的损坏。

下水道系统发生阻塞有可能是由于管道的型号小了,也可能是由于管道的容量变小了。由于受到阻塞导致管道容量变小的原因可能包括:树枝、油脂、残骸、断管子或接头失效等。残骸进入下水道可能会来自于建筑活动,比如故意破坏,也可能由于下水道维护。

由于固化的油脂、树枝、抹布、塑料袋、碎砖、岩石片、沙砾、蛋壳和泥沙等导致的阻碍可能进一步加剧过载和阻塞。阻塞也有可能是由于小流量、低速度和坡度平缓而使得诸如粗沙等东西的积聚。

渗入和流入(Ⅰ/Ⅰ)是于雨季时发生的外来水进入下水道。如果Ⅰ/Ⅰ引起一个峰值流量超过了下水道的容量,那么就可能发生 SSO。雨季的峰值流量与旱季的平均流量之比可以用来作为判断某一区域是否会发生溢出的参考依据。一般来说,如果峰比系数达 4 到 5,那么发生过载或溢出的可能性就大为增加。发生溢出的峰值流量比取决于下水道的特性。

3 SSO 的减少

有许多种方法可以减少 SSO 的发生率,例如:下水道维护;引走Ⅰ/Ⅰ以降低峰值流量;雨季储存和处理设施;增加输送和处理容量。

(1)下水道维护

许多下水道系统严重缺乏维护,需要大量的维护和修复工作。大多数市政当局仅仅当出现危急情况才提供维护,比如清理阻塞和坍塌,以及一些必要的行动。

需要花大气力进行维护和复原工作的因素包括:

①不周全的计划和筹备,没有任何对于长期发展的考虑和准备。

②不良的安装,因而引起一系列不必要的维护困难。

③所用的材料不足以承受结构的沉陷、地面的移动,以及交通。

④接头设计没有考虑防止树根的侵入。

旨在减少 SSO 的防护性维护程序须得关注那些可能由于例行的为去除水力阻塞而采取的水力、机械或者化学清洗和移走树根,以及管线更新等措施而导致的堵塞。常常在进行紧急修复时,工作人员会发现附近有一根损坏的管子,而这根管子的修复就可能构成防护性维护程序的一个部分。收集系统的防护性维护程序应该包括泵站。如何进行防护性维护主要基于两条,一是设备制造商的建议,二是从实践经验得来的知识。

(2)通过引走 I/I 以降低峰值流量

许多引走 I/I 的操作均只能获得部分成功。其中一个原因是来自私人财产上的建筑分支排水管线的 I/I 通常不在下水道系统修补计划之内。据估计,在美国约有 50%～70% 的 I/I 源自私人财产上,而地方政府一般不愿意或不能够去处理这种难题。

(3)雨季处理设施

雨季储存和处理设施可以为收集系统提供水力学的减轻负荷作用。这种设施的目的是在雨季小水量"事件"提供储存作用,而在雨季大水量"事件"时则有控制地泄排与提供处理并举。设施的规模视情况而定,比如提供最小限度的处理、要求符合水质标准,以及减少溢出事件。大多数情况下,雨季处理设施是为提供沉淀、消毒和去除悬浮物等处理而设计。这跟合流式下水管道溢出(CSO)处理设施很类似。欧美的合流式下水管道数年前开始在大都市地区出现旨在既排雨水又排污水。

(4)增加输送和处理容量

为增加输送容量,须对收集系统作一评估以确认并减少限制因素。可通过检查、监测和系统的模拟以得出其性能描述。为去除限制因素,可建一溢流排水管,或将管道换粗。如果 SSO 发生在泵站,那么就要增大水泵容量。

有许多"在系统"技术或战略可以用于在线储存。这些通常对大直径管道很有效,但须十分小心仔细以确保不会有来自出户连接的"泛滥"。缺点包括可能的沉淀物淤积和增加维护费用。

5.3.6　渗入/流入(Infiltration/Inflow)

外来的水进入生活污水管道,占用设计容量并增加废水收集和处理费用。这些流量主要是渗入和流入,见图 5.10。

图 5.10 渗入和流入特征水文曲线

渗入是指地下水渗透进入下水管道,主要是由于管道、接头、连接和检查孔的老化和/或失效。一般地,这些渗入随地下水的移动而呈季节性的涨落。

流入主要是雨水直接经由检查孔盖子、院落和屋顶排水沟和雨水下水管道的交叉连接进入污水下水管道。通常这种流入往往立刻引起废水流量的突然增加。

生活污水下水管道的系统分析研究可以寻找可能须花费大量修理经费的破坏之处。

1. 渗入/流入分析

下水道分析的初始阶段是渗入/流入的分析。这种分析是采用历史数据和在系统的流量测量以在系统和亚系统层面上确定超限外来流量的不存在的或可能存在。这些分析也可用作任何进一步的深入研究的基础。

背景资料和现场研究被用来分析以确定渗入/流入的强度。过去和现在的数据包括流量记录,环境因子,下水道图纸,工程计划、规格和报告等,建筑实践,观测到的和重新发生的故障,地方管理条例。与雇员的谈话也是重要的数据源。

现场研究包括对档案记载的确认和对系统的一般观察。主要的努力在于收集和分析系统中的处理厂、选取的检查孔和/或泵站的废水流量。需要测量和记录降雨和地下水位的涨落。

流量监测数据至少要包括一次降雨过程,要能够提供足够数据以作出污水(和降雨)流量图。旁路和溢出均须标出并描述,另外要尽可能地将排水的量、频率和持续时间等包括在内。

连续记录仪表可用来在选定的检查孔测量在系统流量。这些仪器的工作原理是基于流量是深度的函数,或者与特制的堰和计量槽协同工作。人工测量或染色

法也是较为实用的方法。现场研究可以提供一个渗入和流入的估算值。可获得的成本信息可用来分析比较输送并处理渗入和流入的水与各地因地制宜处理的费用支出。所有在输运与处理上将花费远大于寻找并修复的水流都可归类为过量的渗入或流入。

Ⅳ I 分析的最后一步是计划采取行动去处理这些过量的渗入和流入。如果一个地方的渗入或流入已经确认的话,那么就应该计划设计并采取一个适当的补救措施。如果还属未知数,那么就需要进一步彻底的对于下水道系统的调查评价,然后再决定行动。

2　评估调查

下水道系统的评估调查(SSES)是一个两步骤的系统的研究,以确定Ⅳ I 确实的位置、流量和修复费用。第一个步骤是进行物理检查并辅之以降雨模拟以定义问题的性质,有可能的话,减少不必要的进一步研究。第二个步骤是进行内部监测以查明问题。

(1)物理调查

一个 SSES 的物理调查步骤主要包含检查孔的物理检查、将管线拉上灯标、流量监测、流量分隔、降雨模拟以隔离渗入或流入源或区域。每一个检查孔和管线范围所及都应包含在调查之中。

观察检查孔旨在弄清楚材料的类型和状况。检查者观察可能的渗入、渗漏的证据、或者其他渗入和流入的迹象,比如高水位标记和有孔洞的检查孔盖子。相连接的下水道管线也要采集类似的数据。通常一张表格做好后用到底。流量监测是用来更好地划定需要研究调查的区域,并且定量各分支管线的渗入。分区连续流量监测,在Ⅳ I 分析部分已经深入地介绍过,有助于选定更小范围进行渗入和流入调查研究。利用堰或其他现场出值的流量测量手段于午夜至凌晨(此时流量小)进行测量,可以得出逐个分区的渗入情况估算。

利用物理调查的结果可以选定分区或小范围以供用降雨模拟技术作进一步研究。

(2)降雨模拟

烟雾测试是最经常使用的降雨模拟技术之一,它将提供一个方法去确定大多数流入源。较浅层的管线(大多数情况下是家庭出户连接)渗入源可借地面烟雾加以确认。

借用染色水也可以寻找流入位置。把染色的水加入与下水道平行或交叉的雨水下水管道或者河道,如果有流入,那么在下游的下水管道的检查孔将会被发现。渗入则可借在怀疑位置上面注入或灌注染色的水而加以确定。

空气测试是另一种可以确定渗入源的技术。空气测试用于在测试-封死的修

复过程中对每一个接头的检查。

(3)预备清洁

对从物理检查和降雨模拟中所获得的数据进行分析可以选定须进一步进行内部检查的范围。预备清洁为准备利用照相机在无阻碍条件下获得有关结构性缺陷、没对准以及其他问题方面的信息所必须。

清洁步骤须清除油脂、树根和其他残骸等;运输物品到入口,例如检查孔;从下水道运走东西;将东西排放到合法的地方,例如填埋。清洁设备大约可分为四大类:

①底部清除机械。对于树根或其他堵塞物体很有效。

②铲斗类机械。主要适用于铲除沙砾、树枝和其他类似物体。

③高速水机。用来输送污泥、泥浆和沙子。

④水力推进机械。用来输送污泥、泥浆和沙子。

所有这些机械都可用于小型的管道,比如 8 英寸(20 cm),铲斗类机械和水力推进机械比较多的用于较大型管道,例如超过 15 英寸(38 cm)。选择何种机械要根据残骸的种类和数量、进口、管道和检查孔的结构条件,以及所需进行的清洁要求等。

残骸被运到入口处之后,可以用铲斗和铁铲、真空装置或者垃圾泵将其运走。铲斗(清洁)机械还可以用于从下水道把残骸移走。有很多种类的车辆可用来将残骸运输到指定地点去。

(4)内部检查

配有闭合电路的摄像机的电视是最常见的内部检查技术。可以由检查记录、监视器的照片和/ 或录像制成档案。图 5.11 所示为典型的电视检查。其他技术包括照相检查、物理检查和空气检测。

图 5.11 电视检查的典型安排

研究的最后步骤的目的在于确定每一个渗入和流入源的确切的地点、情况和流量。如果可能的话,最好在高地下水时进行内部检查。在某些情况下,用表面带有染色或不带染色水的泛滥去模拟高地下水或降雨条件。

在内部检查步骤的结束时,一个符合经济学观点的可行的修复方法被给出了。这个结果便作为 SSES 的最终报告,将给出费用、地点以及须采用何种类型的修复来解决渗入/ 流入问题。

5.3.7　修复(Rehabilitation)

当对诸如管道毁损和坍塌等问题作简单观察后,或者在一个深入的 SSES 后,就可能要对下水管道进行修复。修复方法的选择要视问题的种类,例如是渗入还是流入,以及问题的严重程度。在适当的修复方法之间还要利用经济分析加以比较和选择。

1. 渗入修复

最常见的渗入源的修复方法是:换掉;灌浆修补;衬里。

这些和另外一些技术示于表 5.22,该表汇集了针对渗入性问题的可能的解决办法。

表 5.22　渗入原因和修复方法

渗入原因	修复方法
管子倒坍	拆换;加衬里
管子断裂或挤扁变形	拆换;加衬里
管子破裂	加衬里;用水泥沙灰浆或环氧胶泥作衬里;拆换
管子接头老化	化学灌浆
支管接头渗漏	加衬里;灌浆;拆换
接头敞开	加衬里;灌浆;拆换
砖砌管道的灰泥接头老化	替换灰泥
家庭出户连接渗漏	加衬里;灌浆;拆换
下水道与检查孔间的旋塞连接出问题	挖掘和修理
下水道与出户连接间的旋塞连接出问题	挖掘和修理
检查孔和湿井坍塌	拆换

续表

渗入原因	修复方法
检查孔壁、基础和通道出问题	用水泥沙灰浆或环氧胶泥作衬里;化学或水泥灌浆
砖砌检查孔的灰泥接头老化	替换灰泥
湿井和泵站建筑结构老化	用水泥沙灰浆或环氧胶泥作衬里
节制闸和潮控门等其他原因	视情形加以修理

(1)拆换

管道、连接和检查孔的开挖和更换是非常有效的修复方法。最主要的缺点是修复时间长和费用高。表 5.23 示出了进行更换的经济效益分析时应该考虑的一些重要因素。

表 5.23 管道更换的评估准则

管道的大小	出户连接的数目	进入工作场地通道
管道的深度	地下水位高程	管道材料和设备的可能的储存地方
出户的方式	临近的其他设施	开挖出的东西的可能存放地方
管道类型	管道运输需要	气候条件
现存管道的挪走	渗入许可条件	可用的劳动力及其价格

当管道或检查孔因为内部原因(例如硫化氢)或外部原因(例如土壤固结)等导致失去了结构上的整体性时,对其进行更换是十分适当的。

(2)灌浆

如果结构是坚固的,那么化学灌浆就会被广泛采用于密封管道接头和检查孔。这种方法的成功与否很大程度上决定于问题的类型、灰浆的选择,以及采用的技术。关于采用灌浆法修复的经济分析所应遵循的标准见表 5.24。

有各种不同方式的灌浆。基本类型是与泥土混合以减少渗透性的那种和确实能在裂缝渗漏处凝固的那种。每一种都可以为解决渗入问题。

灌浆常被概括为检测和封固,因为每一个接头均被空气检测以决定是否需要封固或灌浆。该过程的完成主要是推进一个电视摄像机和灌填机通过下水管道。用电视摄像机在各个接头为灌填机确定位置。需要指出的是要确保下水管道的每一区段都不会被遗漏。如果仅准备检修渗漏的接头,那么地下水将会沿着管道移动直至渗漏进入下一个接头,此接头不紧但由于没有被地下水包围此前并没渗漏。灌填机先用来对接头进行空气检查,如果必要的话,然后用泵打进化学胶泥。堰和

水检测则往往会被比空气检查更优先考虑用于灌浆接头。

表 5.24　管道灌浆的评估准则

流动距离	检查孔中的有毒气体	接头类型
气候条件	管道类型	接头空间
地形	管道粗细	支管接头
土壤类型	管道校直	挤入的出户连接
检查孔入口	管道坡度	结构性损伤的管子
检查孔通道	管道清洁程度	随机连续检查孔截面
检查孔大小	流量深度	可能的劳动力和费用
检查孔清洁程度	流量	
检查孔深度	堵塞能力	

(3)衬里

加衬里方法由于衬里的特性和比原来管道更光滑而具有很多优点。

这种方法特别适合于没有或很少连接的区段,或者一些难以采用其他方法的区段。关于这种修复方法的经济分析所需注意的标准见表 5.25。

表 5.25　管道加衬里的评估准则

下水道的型号	出户连接的数目	进入工作场地的通道
下水道的长度	所需地面恢复的类型	电源保障
下水道的深度	管子运输条例	管道材料和设备的存放
下水道坡度和方向的改变	所需检查孔封固类型	开挖出的物质的存放
下水道中水流的深度	下水道所需清洁的程度	移动距离
衬里管子的型号	证实或预检查的技术	可能的劳动力和费用
所需的衬里管子的壁厚	开挖条例	
灌浆要求	地下水高程	

2　流入修复

如同表 5.26 所示,堵塞和断开连接是解决流入问题的最常用方法。对于检查孔,要准备好有关设备以保证地表水不漫进来。

表 5.26 流入源和修复方法

流入源	修复方法
低位检查孔	检查孔提升
检查孔盖子穿孔	换一个紧的盖子
交叉连接	堵塞
屋顶排水沟排水	断开连接
基础排水	断开连接
地下室排水	断开连接
庭院排水	堵塞
区段排水	堵塞
冷却水排放	断开连接
从小河和湿地排水	堵塞

第四节 一级处理
(Primary Treatment)

按照废水处理任务和处理程度的不同,可将其大致分为一级处理(包括预处理)、二级处理和三级处理(或高级处理)。

一级处理主要是去除水中漂浮物与悬浮物,调整 pH,减轻后续处理的工艺负荷。采用的方法有格栅和筛网拦除、沉淀、气浮、预曝气等。废水经一级处理后,一般达不到排放标准,还必须进行二级处理。但是有些情况,废水经一级处理后,可将出水排放或用于灌溉农田。此外,应该指出,有些高浓度废水在进行净化处理前往往先回收水中的有用物质。因此把这种称为预处理的过程也列入一级处理。

5.4.1 漂浮与悬浮固体(Floating and Suspended Solids)

废水中固体的来源和组成决定了漂浮和悬浮固体处理过程的复杂性和各废水处理厂可能采用的工艺技术。需处理或者要除去的漂浮和悬浮固体包括:

①废水源中较大的无机固体和其他总是进入生活和工业污水下水管道的各种固体。

②源于废弃物的含有较高有机成分的固体。

③由于处理厂化学或生物处理而产生的无机或有机固体。

漂浮和悬浮固体处理的重要性无论怎么描述都不为过,因为选定的处理工艺将是处理厂的建设和运行费用的最重要组成部分,同时也是可操作性和出水水质的决定性因素。所选定的处理工艺必须对预先设定的水力和悬浮固体负荷要有较强的‘适应性”。最后,漂浮与悬浮固体的去除与适当的处理和排放污泥影响到处理厂的形象美。

由于漂浮与悬浮固体处理的要求各有不同,因而处理工艺的选择须与处理厂总体处理以及处理目的结合起来考虑。关于这些见于以下所示的漂浮与悬浮固体处理的功能:

①去除进水中的大的物体以保护处理厂的设备和避免下游管道与水道的堵塞。

②减少后续处理工序的固体负荷,这包括避免瞬间水力和废弃物负荷的冲击。

③生物处理(例如活性污泥)后收集活性生物量,可将其回流以作为种子用于以后的废水。

④对于分离式处理,收集和去除过量的有机生物固体,例如废弃的活性污泥。类似的处理也适用于废弃化学污泥。

⑤在从处理厂排放之前去除细颗粒以改善出水水质。

常见的悬浮固体处理工艺包括:拦除与筛除、重力沉淀、气浮、过滤,以及机械系统,例如离心等。至于饮用水的处理,为改善处理工艺起见,化学添加剂是有用的,有时甚至是必不可少的。

5.4.2　格栅和网筛(Screens)

用栅栏拦除固体是最古老的废水处理工艺之一。最初,用粗栅栏拦除难看的固体,后来用于保护下游的处理厂的设备,因而更显重要。今天,细的栅栏被用来去除废水中大量的悬浮固体。在工业废水处理中此种工艺显得更加重要。

人工或机械清洗的格栅都可用以拦截废水流所携的各种较大的难以通过下游的泵和沟道的残骸。石块、木板、破布,以及其他大的物体被格栅所滞阻,并被耙子移走。这些从格栅移走之物须加以脱水再排放或填埋。

1. 粗栅

最为常见的粗栅是格栅。格栅是由一组垂直或有一定坡度的等间距的完全挡住沟道的钢制栅格组成的框架。人工清洗的格筛,其栅格与水平成 30°～45°,因为较平缓的坡度比较易于清洗,但也有采用 50°～60°的。机械清洗的格筛则往往比较陡,常采用 60°～80°的坡度。

如果格筛只是用于保护原废水泵,例如在下水道收集系统或者处理厂的进水,那么格栅条的间距通常为 50～150 ｍｍ。在废水处理厂,有许多设备须加以保护,

所以格栅条的间距基本在 25～50 mm。

粗栅的设计包括沟道设计考虑。在正常水流条件下,流速应该为 60～120 cm/s。这样可以防止固体在沟道中沉积以及防止直冲而下。

其他设计考虑包括:

①栅栏必须以足够高的频度清洗以防止沉积和水头损失,所以除去小型的生活污水系统或少部分工业应用,出于不管是设计还是运行的考虑,都更倾向于采用机械清洗方式。

②要有两个或更多的沟道及其配套设施用以各栅栏部件的脱水和维护。

③如果计划用多栅栏同时工作,那么进水沟道的设计须满足能够转移成比例的流量到各个栅栏。

④须有足够的配套设施用以收集和移走栅栏积存物。在某些情况下可能会把积存物浸泡变软后再放入废水中去。这样做减少了单独排放栅栏积存物的必要性,但是将'球'踢给了后续工段。

⑤栅栏后面的沟道须降低 75～150 mm 以补偿栅栏造成的水头损失。

机械清洗的格栅配备有定时耙过格栅空挡的耙子。格栅积存物先堆放在顶部,然后再转移运走。前清洗和后清洗均是可行的。在大型污水处理厂或泵站前的大型格栅,每天的污染物量大于 0.2 m^3时,一般应采用机械清除的方法。

2 切碎机

当不希望一些大的固体进入废水流和一些固体可以留在水体而被格栅挡住时,切碎机便可以登场了。这些切碎机把固体切成约 6 到 20 mm 大小。被切碎的固体将不会再对下游厂的运行造成损害。一些不同型号的切碎机械列于表 5.27。

表 5.27 切碎机剪切机理

1. 由通过静态剪切梳刀的转桶上的剪切齿把粗的物体切碎
2. 摆动臂上的剪齿与半圆转桶上的固定剪齿相切
3. 静态的栅格截取大的固体,而小的固体则通到转盘上剪切齿。剪切齿有时也安在栅格的梳刀上
4. 转动剪切齿作与格栅的上下相对运动,剪切滞留物后放其进入

在制造厂家的数据基础上,切碎机的设计还须考虑以下一些方面:

①在考虑下游的泵和其他设备基础上确定允许通过的固体的最大尺寸。

②应当在考虑剪切机械的选择和可靠性同时也考虑固体粒子的特性,特别是来源于工业废水的固体粒子。

③切碎机需具有足够的容量应付峰值流量情况。

④需备有旁路粗格栅及其附属设备以隔开切碎机进行维护和保养。

⑤如果可能的话,切碎机之前应该有一沉沙池,或至少是一个可以俘获石块和沙砾类东西的陷阱。

⑥在某些情况下,泵的前面应该设有粗格栅,用以保护机械设备。

大致可以根据格栅栅条的间距分成粗中细三级:间隙为 4～10 ｍｍ 的细格栅;间隙为 15～25 ｍｍ 的中格栅;间隙为 40 ｍｍ 以上的粗格栅。

3. 格栅的设置

考虑到需要拦截的漂浮物种类太多,大小不一,所以可以根据具体情况和目的而考虑粗中细三级格栅的不同组合。

(1)一道粗格栅

可用于水泵流道口径较大的泵站,其进水来自漂浮物很少的河道或城市雨水泵站。此类格栅常采用人工清污。

(2)一道中格栅

可用于水泵流道口径较小的泵站,或水泵流道口径虽大但因河道漂浮物较多,泵站后续处理构筑物不容许有大量漂浮物的场所。此类格栅应采用机械清污。

(3)一道细格栅

可用于城市下游的污水处理厂进水泵房。污水经输水管道的中途泵站,其大量漂浮物已经城市排水泵站及中途泵站的格栅拦截,污水流至处理厂时仍有大量细小漂浮物。设置细格栅的目的,在于拦截雨水中的大量浮渣,为污水处理厂的各类构筑物提供较好的运行条件。

此类格栅宜设在进水泵房的后面,这是因为细格栅的清污工作难度较大,把细格栅设在泵房的进水处则格栅在地面以下,清污难度增加,设备也不易维修。细格栅一般都必须机械清污。

(4)一道粗格栅和一道中格栅

对于河道漂浮物多的情况,除设一道中格栅,截污负荷太大的泵站应增设一道粗格栅。以便对不同的漂浮物“分而治之”。设置二道格栅,对运行管理来说是增加了管理点,但减轻了设备的负荷,对运行是有利的;尤其对采用自动控制的机械清污式格栅,减轻清污负荷是保证格栅安全运行的关键,这一点已逐渐被人们所认识。

(5)一道中格栅和一道细格栅

对于需设置细格栅的净水厂或污水处理厂,增设中格栅可减轻细格栅的负荷。当将细格栅设在泵房出水渠上时,为保护水泵,在泵前进水池处设中格栅也是必要的。

1985 年,天津市市政工程局在总结纪庄子污水处理厂运行经验的基础上,提出在新建的东郊污水处理厂设计守则。要采用一中、一细两道格栅,以便达到保护水泵、减轻格栅负荷、减少浮渣的目的,避免污泥中含大量杂物堵塞管道,为污水处理厂提供良好的运行条件。其中细格栅采用了运行可靠、便于管理的弧形格栅,根据弧形格栅的构造特点,将其设在泵房的出水渠上,可便于维修保养。由此看来,设置细格栅的益处已被人们所认识,引进鼓式细筛,提高污水的预处理标准的日子也即将到来。

(6)设置粗、中、细三道格栅

此种设置方案目前国内还未见到,也未被设计人员所接受。但对于水体漂浮物多、冲击负荷大、预处理要求高的水厂来说,把漂浮物截留在第一道关卡是个明智的措施。

总之,粗、中、细三种格栅的功能不同,型式众多,其设置方案的具体内容,如设几道格栅,设在泵前、泵后,人工清污还是机械清污,是自动控制还是人工控制,以及格栅的型式(如栅条式,链条式,弧条式,鼓式等),机械清污方式更是多种多样,这些都应结合当地安装条件、供货情况进行选择。而利于运行、便于管理则是设计应首先考虑的决定因素。

从目前已建成的城市污水处理厂的运行情况分析,细格栅的设置十分重要,当然,格栅如何设置取决于上游排水系统的情况以及处理厂内后续处理单元的要求。如污水厂上游排水系统为合流制,处理厂内有大量易堵塞的设备和工艺管线时,那么最好粗、中、细格栅各设一道。北京高碑店污水处理厂设计采用一道栅距为 100 mm 的粗格栅和一道 20 mm 的中格栅,从现在的运转情况看,极有必要增设一道细格栅。

4. 格栅的过栅流速和水头损失

污水在栅前渠道内的流速一般控制在 0.4～0.8 m/s,经过格栅的流速一般控制在 0.6～1.0 m/s。过栅流速不能太大,否则将把本应拦截下来的软性栅渣冲走。同时,过栅流速也不能太小,如果过栅流速低于 0.6 m/s,栅前渠道内的流速将有可能低于 0.4 m/s,污水中粒径较大的沙砾将有可能在栅前渠道内沉积。污水过栅水头损失与过栅流速有关,一般在 0.2～0.5 m 之间。如果过栅水头损失即格栅前后水位差增大,说明污水过栅流速增大。此时,有可能是过栅水量增加,更有可能是格栅局部被堵死。如过栅水头很小,说明过栅设计流速太低,有可能造成沙砾在栅前渠道内沉积。

5. 格栅防冻

寒冷地区的污水处理厂一般将格栅设在室内,并采取强制通风措施。格栅设

在室外的处理厂,冬季要注意防冻。

6. 楔形金属丝网筛

利用楔形金属丝作为筛子的介质,有固定和转动两种形态,可以做成废水处理的粗筛和细筛。这种筛子可以用于工厂作为预处理,也可以用于污水处理厂去除大的和小的固体。固定型和转动型筛子分别示于图 5.12 和 5.13。



图 5.12　固定筛示意图

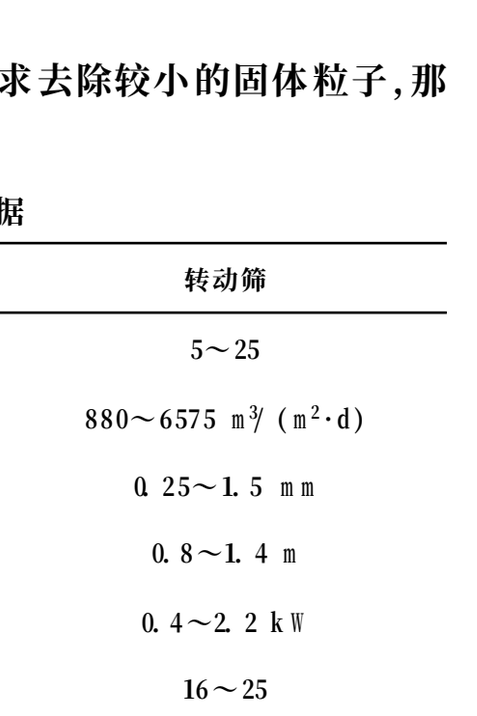

图 5.13　转动筛示意图

楔形金属丝网筛的设计数据见于表 5.28。如果要求去除较小的固体粒子,那么开口可以小一些,其他的设计数据可作相应变化。

表 5.28　楔形金属丝网筛设计数据

参数	固定筛	转动筛
悬浮固体去除率/ %	5～25	5～25
负荷	860～3400 $m^3/(m^2 \cdot d)$	880～6575 $m^3/(m^2 \cdot d)$
筛子开口	0.25～1.5 mm	0.25～1.5 mm
水头损失	1.2～2.1 m	0.8～1.4 m
电机	—	0.4～2.2 kW
固体质量百分比/ %	12～15	16～25

7. 活动筛

采用不锈钢或其他抗腐蚀的材料,活动筛大都用作粗筛。活动筛形如一没有端点的传送带,延展伸开大致与废水流垂直。就像用于机械清洁格栅的耙子,活动筛有一收集和去除被筛子捕获的固体的托盘。视开口之大小,活动筛可分别用作进水筛子或者出水筛子。

8. 振动筛

用于废水处理的粗筛或细筛的商品振动筛子有圆形、矩形和方形。最普通的应用是废水的预处理,也可用于食品或其他行业的副产品回收。若用振动筛子替代固定或转动楔形金属丝网筛,那么废水须不含油脂或基本不含油脂。一般来说使用振动筛子所收集的固体含水量要比用其他筛子时低。

9. 细筛

要想去除细小的固体,固定或转动筛原理都可奏效,可选用不锈钢、纤维或其他材料,开口在 0.01～0.06 mm。

10. 转动微筛

转动微筛(见图 5.14)可用以去除经过生化处理的废水中的剩余悬浮固体。典型设计数据见表 5.29。为提高效率,可以尽量保持流量的稳定以使得均衡的废水经过微筛。设计需考虑中试。

图 5.14 微筛示意图

表 5.29　微筛设计数据

参数	典型数值	附注
悬浮固体去除率/ %	50～70	也降低 BOD
浸没情况	75 % 的高度,66 % 的面积	范围,70 % ～80 %
筛子开口	20～25μm	范围,15～60μm
负荷	295～585 $m^3/(m^2 \cdot d)$浸没表面积	对小开口筛子这个值要更高一些
水头损失	75～150 mm	当水头超过 150～225 mm 时往往会加设溢流堰
典型鼓直径	3 m	如果鼓直径更大需要进行反冲洗
鼓速度	0.5～4.5 r/ min	与水头损失成正比
反冲洗流,总百分比/ %	2～6	连续,与压力成反比 范围约为 100～550 kN/m^2

5.4.3　沉沙池(Grit Chambers)

沉沙池通常设在格栅之后用以移去废水中的沙砾、石块和其他重物质。重力沉沙池通过重力作用让粗沙静止沉淀,而曝气沉沙池则让废水旋转以使重的粗沙等得以沉淀,轻的有机质保持悬浮状态。

如果预计可能会有大量的重有机粒子被沉积下来或被聚集起来的沙砾不能迅速地运走,那么粗沙清洗设备也许是必要的。这主要出于健康和美学考虑。

1. 重力沉沙池

如果空间许可的话,人工或机械清洗的重力沉沙池可以使用。池子的形状大都为矩形,并且深度很浅。应该有进水速度控制装置以使沉沙池有一均匀的进水流量。人们经常用帕歇尔量水槽既控制流量又测量流量。

典型设计参数为:控制速度约为 0.3 m/ s,停留时间约 60s。沟道的长度和深度决定于待移走的最小的粒子的沉降速度和选择的储存容积。为了维护和修理,需要备有另外一套设备备用。

一个机械清洗的重力沉沙池的物理特征示于图 5.15。流量的均分和出水流量控制是很重要的特征。粗沙收集坑置于入口还是出口处取决于各个具体沉沙池的设计。

除去在小型处理厂,依靠铁锹或某种机械进行人工清洗一般不多见。但是对于无机废水处理利用人工清除粗沙收集坑还是可行的。在这种情况下,一种做法是设计一个斜坡入口,这样可以方便让前端装载车进入运走沉降下来的沙砾。这种类型的系统应具有足够的储存容量以避免频繁的清除。

最常见的是机械式清除沙砾,利用刮板将沉降在底部的沙子推进集沙坑。铲

图 5.15 重力沉沙池示意图

斗或螺旋传送装置常被用来把沙砾从集沙坑装到容器内运到最终存放的地点(往往是填埋)。

2. 曝气沉沙池

曝气沉沙池是一个长型渠道,沿渠道壁一侧的整个长度上,距池底约 60～90 cm 处设置曝气装置,在池底设置沉沙斗,池底有 i=0.1～0.5 的坡度,以保证沙砾滑入沉沙斗。为了使曝气能起到池内回流作用,在必要时可在设置曝气装置的一侧装设挡板。图 5.16 为曝气沉沙池的示意图。

图 5.16 曝气沉沙池示意图

工作原理:污水在池中存在着两种运动形式,其一为水平流动(流速一般取0.1 m/s,不得超过0.3 m/s),同时,由于在池的一侧有曝气作用,因而在池的横断面上产生旋转运动,在这种运动的作用下,整个池内产生了一种呈螺旋状前进的流动形式。水流旋转速度在过水断面的中心处最小,而在池的周边则为最大。空气的供给量应保证在池中污水的旋流度达到0.25～0.4 m/s之间,一般取0.4 m/s。

由于曝气以及水流的螺旋旋转作用,污水中的颗粒经常处于悬浮状态。这些悬浮颗粒在上述水流中相互摩擦,碰撞,以及受到曝气气泡上升时的剪切力的作用,就能使黏附在沙砾上的有机污染物得以去除,能够获得较为纯净的沙砾而沉于池底。这种有机污染物含量只有5%左右的沙砾,一般长期搁置也不至于变质。

典型的曝气沉沙池设计数据见表5.30。

表5.30　曝气沉沙池设计数据

参数	典型数值	附注
停留时间	3 min	范围,峰值流量时1～5 min
空气供应	0.3 m^3/(min·m)(长度)	范围,0.1～0.75 m^3/(min·m)(长度)
池底部之上的空气扩散高度	0.6 m	范围,0.45～0.9 m,取决于粗沙收集设备
长宽比	5:2或者5:1	带横向挡板
宽度:深度	2:1或者5:1	带纵向挡板

池子的几何尺寸是很重要的,因为不仅要杜绝死区,而且要保证有效的旋转动作和配合沙砾收集设备的选择,这些设备可能是泵、铲斗或其他输送装置。同样为维护和修理需要设计时考虑备份。

3. 曝气沉沙池的设计计算

(1)计算公式

①曝气沉沙池的总有效容积 V

$$V = Q_{max} \cdot t \cdot 60 \tag{5.5}$$

式中:Q_{max}为最大设计流量,m^3/s;t为最大设计流量时的停留时间,min。

②池的过水断面面积 A

$$A = Q_{max} / v_1 (m^2) \tag{5.6}$$

式中:v_1为最大设计流量时的水平流速,m/s。

③池的总宽度 B

$$B = A / h_2 \tag{5.7}$$

式中,h_2为设计有效水深,m。

④池长 L

$$L = V/A \ (m) \tag{5.8}$$

⑤每小时所需空气量 q

$$q = L \times d \ (m^3/h) \tag{5.9}$$

式中，d 为每米池长每小时的供气量，$m^3/m \cdot h$。

(2)计算举例

【例】 有一合流制下水道，雨季的最大流量为 2.0 m^3/s，而晴天时的最大设计流量为 0.9 m^3/s，试计算曝气沉沙池的各部分尺寸。

【解】 ①曝气沉沙池的总有效容积 V

设在雨季最大流量时的停留时间为 1.2 min，那么

$$V = Q_{max} \cdot t \cdot 60 = 2.0 \times 1.2 \times 60 = 144 \ m^3$$

②池的过水断面面积 A

设在雨季最大设计流量时的水平流速 v_1 为 0.1 m/s，那么

$$A = Q_{max}/v_1 = 2/0.1 = 20 \ m^2$$

③池的总宽度 B

设有效水深为 2.5 m，那么

$$B = A/h_2 = 20/2.5 = 8 \ m$$

当池的只数为 n = 2 时，则每只池的池宽为 8/2，即 4 m。

④池长 L

$$L = V/A = 144/20 = 7.2 \ m$$

⑤每小时所需空气量 q

取 $d = 30 \ m^3/m$(池长)·h，则有

$$q = L \times d = 7.2 \times 30 = 216 \ (m^3/h)$$

经过上述计算后，应复核当晴天最大设计流量 Q = 0.9 m^3/s 时，曝气沉沙池的停留时间 t_1。

$$t_1 = V/Q_{max}(晴) = 144/0.9 \times 60 = 2.67 \ min$$

计算结果符合 3 min 的要求。考虑到池的进、出水的条件，沉沙池的长度可适当乘以 1.1 的系数，相应的供气量亦可增加 0.1 倍。

5.4.4 沉淀(Sedimentation)

沉淀几乎是所有污水处理厂都会用到的处理单元，主要用来去除粒子和胶状固体，以及絮凝悬浮物质。本节讨论处理方法的选择和悬浮固体去除系统的设计基础，也讨论辅助设备。

最主要的设计考虑包括沉淀池的截面积、停留时间、深度和溢流速率。需要指出的是，沉淀效率跟许多因素有关，例如废水和悬浮固体特性、池子的数量、流量的

变化、总体运行和维护。

1. 沉淀过程

取决于悬浮粒子的特性和浓度,沉淀过程可分为四种类型:即粒子、粒子和悬浮物、悬浮物及浓缩。

这四种类型的区分见图 5. 17。

图 5. 17　沉淀分类示意图

(1)第一类沉淀

浓度较低的不连续的并且不倾向絮凝的沉淀命名为第一类沉淀。这一类沉淀常用于一些工业废水处理系统,在这些处理系统里重的惰性物质的沉淀不太受到别的物质的影响。

沉降速度定义为粒子单位时间内沉降的距离,这个值可以用来确定一给定沉淀池深度的设计溢流速率。总沉降速度决定于给定废水中粒子的质量和组成。

沉降柱测试可用来分析与粒子速度相关的悬浮固体去除率。

(2)第二类沉淀

大多数工业废水和生活废水都含有一个在大小和表面特性上范围极广的分布。这些类型的悬浮固体(初沉池的进水中极为常见)和絮凝悬浮物归属于第二类沉淀。

在这个处理过程中,重粒子沉降得快,并且在沉降过程中与轻粒子结合起来成

为仍然较重的团块一起沉淀。因此沉淀池的深度越深沉淀效果越好。这种对沉淀池深度的依存关系是与第一类沉淀不一样的。

沉降柱测试可用来估计在理想条件(静止状态)下沉淀池的表现。把准备测试的废水放入配有取样口的柱子内。柱子的直径要足够大以避免沉降过程中的壁效应干扰。

通过起始悬浮固体浓度的获知与定时从取样口收集和分析样品,可绘出不同去除率的等浓度的沉降路径图。一个假定的测试结果示于图 5.18。如图所示,要去除给定百分比的悬浮固体 R_x 需有深度 d_i 和时间 t_n。粒子去除平均速度(溢流速率)将小于 d_i/t_n。

图 5.18 第二类沉淀测试示意图

利用图 5.18 的注解,深度 d_4 的总去除率 R 可计算如下

$$R = R_2 + \frac{d_a}{d_4}(R_3 - R_2) + \frac{d_b}{d_4}(R_4 - R_3) + \frac{d_c}{d_4}(R_5 - R_4) + \cdots \quad (5.10)$$

所有的 R 值均为百分比。d_a、d_b 和 d_c 是时间 t_2 时分别位于各 R 线之间的深度。在实践中,当深度比变得不显著时去考虑高百分比去除范围内的成正比去除将没有什么意义。

(3)第三类沉淀

相对较高浓度的悬浮固体的沉淀归类为第三类沉淀,或称之为分区沉淀。在这个过程中,固体成团块沉降,并且在固体与澄清液之间有明显的分界面。这主要是由活性污泥和絮凝悬浮物的性质决定的。

更精确的可以如图 5.19 所示的沉降柱测试,将沉淀固体分为 3 个区。最上面的区叫做阻碍沉淀区,因为向上升的液体阻碍降低了固体沉降速度。压缩区内固体互相支持。

清水和悬浮物界面的下沉在第三类沉淀设计中是十分重要的,可以用其在刻上标度的沉降柱中的随时间之移动来确定。如图 5.20 所示,在阻碍沉淀阶段的沉淀速度对于沉淀池设计是很重要的,这是曲线的那一部分的斜率。沉淀池的表面积必须足够大,以使得液体上升(或溢出)速率小于沉淀速度。

图 5.19　第三类沉淀分区示意图

图 5.20　第三类沉淀曲线

(4)第四类沉淀

第四类沉淀与其他三类之区别主要在于污泥的压缩或浓缩。在处理过程中,

粒子之间直接接触靠紧,因而降低了沉淀速度。轻微搅动可能会有助于进一步压紧。

当处理含有很高浓度固体的污泥时,比如第三类沉淀所产生的,浓缩过程显得非常重要。浓缩所需要的截面积可能比悬浮固体去除所需的还要大,具体数值要根据沉降柱测试结果而定。

浓缩所需的面积是所期望的沉淀固体/污泥浓度 C_d 的函数,而要达此浓度需经由一定的时间 t_d,故这个时间和相应的柱子深度 d 以及流量 Q 共同决定了所需的沉淀区的面积。

$$A = \frac{Qt_d}{d} \tag{5.11}$$

因为废水流量和深度是已知的,所以达到一定浓度所需的时间要确定。这可用作图法求出(见图 5.21)。具体步骤为:

图 5.21 浓缩体积测定

①分别作曲线的阻碍沉降区和压缩区的切线。

②从两切线的交点引一条平分线交于曲线。沉降曲线上的这个点就是大多数情况下的临界浓度 C_c,与之相应的就是对于任何流量的所需最大面积。

③通过期望污泥浓度 C_d 作水平线。

④作 C_c 的切线交从 C_d 引出的水平线,交点就是浓缩所需的时间 t_d。此时便可以算出浓缩所需的面积。

当把沉降测试应用于实际的设计时,在基本上是理想沉降条件上尚需考虑有一放大因子。全尺寸沉降池与许多因素有关,例如水流的量和动荡,进水口和出水口的特征,还有物理因子,比如风和温度,以及污泥储存要求等。当然放大因子作为增加的测试单元尺寸的函数有一种稍为低一点的趋势。

为达到有效的放大,全尺寸沉降池相对测试池需有较大的面积和较小的表面负荷。表 5.31 给出了放大数量级因子。前面所述及的影响因素,加上特定废水的特性,以及期望的表现,均可用来作为确定真实的放大因子。场地条件和商业化的污泥收集设备同样也会影响到真实的沉降池尺寸。

表 5.31　全尺寸相对测试的放大因子

沉淀分类	面积	容积	表面负荷
Ⅰ—粒子	1～1.25	1.25±	0.75～1
Ⅱ—粒子和悬浮物	1.25～2	1.75～2	0.5～0.75
Ⅲ—悬浮物	1～2	1.25～2	0.5～1
Ⅳ—浓缩	1～1.25	1.25～1.5	0.75～1

2　沉淀池

一级处理在通过格栅和网筛将一些大的漂浮固体去除之后,主要工作任务即是去除污水中呈悬浮状态的固体污染物,采用的主要技术为重力沉淀。一级处理能去除悬浮固体(SS)60％左右,BOD_5只能去除 20％～30％,达不到排放标准,故一级处理属于二级处理的前处理。

一级处理的主要构筑物为初次沉淀池,初沉池型式有平流式、辐流式、竖流式多种,主要设备为不同池型的刮泥机。平流式初沉池为矩形,其优点是占地面积较小,去除效果较好。主要设备为行车式刮泥机和链板式刮泥机。辐流式初沉池为圆形,适用于规模较大的污水处理厂,它又分为中心进水、周边出水型和周边进水、周边出水型两种,主要设备为辐流式中心传动刮泥机和辐流式周边传动刮泥机。虽然辐流式沉淀池占地面积和去除效果都不如平流式沉淀池,但由于这类刮泥机故障率较小,在我国广为采用,特别是大型污水厂采用更多。竖流式沉淀池为圆形,池径在 10 m 以内(或 10 m×10 m 以内方形),沉淀污泥靠重力排泥,无机械排泥设备。它仅适用于小型污水处理厂。

初沉池按功能可分为进水区、出水区、沉淀区、污泥区和缓冲层等 5 个部分。由于初沉池有耗能低的特点,在欧洲有的国家把初沉池设计得十分保守。他们认为,初沉池是一次投资,长久受益。尤其大型城市污水处理厂采用初沉池以后,用很少的电耗就去除了大量的悬浮固体(SS)和 BOD。所得污泥经消化后产生大量

沼气,沼气发电后用于厂内,可进一步节省运行费用,为企业增加经济效益。这是城市污水处理厂建设中政府行为和企业行为的不同出发点。初沉池的进水区和出水区的功能是使污水均匀平稳地流入、流出沉淀区;沉淀区即工作区,是可沉颗粒与污水分离的区域;污泥区是污泥储存、浓缩和排放的区域;而缓冲层则是沉淀区和污泥区的隔离带,起到使已沉下的颗粒不因水流搅动而再行浮起的作用。

目前,我国所建中小型污水处理厂很多都不建初沉淀。有的是因为所进污水BOD浓度较低,为了不减少生物处理的碳源;而有的主要是因为对初沉污泥的处理缺乏信心,同时也为了节省建设投资。在国外,为了集中处理小型污水处理厂的污泥,也有在区域内建污泥集中处理的设施,专门处理区域内几个污水处理厂的污泥,回收生物能源,有很好的经济效益。

3. 设计考虑

沉淀池设计需考虑满足以下两点:

①从废水中有效地去除悬浮固体。

②从池子里收集和移走沉降下来的固体(污泥)。

在大多数情况下浓缩或者压缩污泥是十分必要的。

短流的出现直接影响到沉淀池的效率,因为短流会严重影响生物的或化学的絮状物的去除。所以沉淀池的设计必须考虑以下可能导致或允许短流产生的因素:高的进水和出水速度;湍流;风压应力;温度梯度;团块密度的差异;池子的几何形状。

此外,在沉淀池设计时尚有需遵循的四条结构设计原则:

进水口(inlet) 进水流速应该较低而且均匀以避免湍流和短流。

沉降区(settling zone) 需保证有静止条件以有利于粒子和悬浮物的有效沉降。可以采取一些措施以减少风、密度和温度的影响,并且要控制流进速度。

污泥区(sludge zone) 为污泥的储存和达到所需浓度要有足够的深度。

出水口(outlet) 可通过有限的堰负荷和合适的堰布局使得出水速度较低。

由于化学物质可以极大地影响设计考虑,因而下面我们仅就对大多数废水都常见的第二类和第三类固体的简单的重力沉淀加以讨论。我们名之为简单沉淀。由化学絮凝剂的添加所产生的对沉淀的影响和第三类沉淀的条件则与化学沉淀有关。

沉淀池可分成两种基本类型:

①水平流式。有圆形和矩形两种(即前面所述之辐流式和平流式),废水水平流过池子。

②垂直流式(即前面所述之竖流式)。有环形和矩形两种,废水由下而上的流。

这两种沉淀池都既可用于简单沉淀,又可用于化学沉淀。但是当设计表面水

力负荷较低,低于 20 $m^3/(m^2 \cdot d)$时,垂直流沉淀池需特别注意化学和生物絮状物。水平流沉淀池在欧洲和美国使用极广。

更多的关于简单和化学沉淀的特殊设计考虑见于下面几节。

4. 简单沉淀

圆形和矩形水平流沉淀池大都用作简单沉淀(没有化学调节)。

(1)圆形沉淀池

圆形沉淀池的基本特性见于图 5.22。圆形沉淀池可以广泛的用于悬浮固体的去除,它们的结构也使得它们可以用于污泥浓缩。

图 5.22　圆形沉淀池

(2)矩形沉淀池

矩形沉淀池的应用也很广泛,但是随着其长度和固体负荷的增加将逐渐表现出在充分去除污泥方面能力的局限性。图 5.23 所示为一矩形沉淀池的物理特性。

图 5.23　矩形沉淀池

(3)几何尺寸

对于确保合适的进水口和出水口设计以及沉淀池的有效沉淀条件,沉淀池的几何尺寸是很重要的。表 5.32 给出了典型的圆形和矩形沉淀池的几何尺寸信息。

表 5.32 沉淀池几何尺寸

	参数	典型值	附注
	深度	3～4.5 m	范围,2.4～4.5 m
圆形池	直径	12～45 m	范围,3～60
矩形池	长度	25～36 m	范围,直到 91 m
	宽度	3～6 m	可用多池以增加宽度
	长宽比	3:1	最小化
	宽深比	1:1	直到 2.25:1

(4)进水口设计

沉淀池的进水口应该:能够降低进水速度;水平和垂直都均匀分布流量;防止短流和湍流。

沉淀池的进水口与出水口之间的距离至少要有 3 m 以上,除非采取特殊措施以防止短流。随着进水口与出水口之间距离的增加,对于沉淀池的功能进水口的设计便显得不太那么举足轻重了。

对于圆形池子,可以从中间也可从周围进水。中心进水设计需考虑流量沿半径的均匀分布。进水需有一定的速度,比如 0.3～0.6 m/s,以使得固体保持悬浮;但是不能太大,比如 1 m/s,应该节约能量。控制流出速度应小于 0.08 m/s。对于周围进水,在废水通过整个周围的口或其他类型的开孔之前要保持一定的进水速度以防止固体的沉淀。

矩形池子的进水口往往沿宽度均匀分布。进水沟道的设计要能够保持固体悬浮,并且各进水口的进水流量要均等。经过进水口的废水流速应该在 0.08～0.16 m/s。

为了进水的均匀分布,不管是圆形的还是矩形的池子,进水口均需用挡板。流速得以降低,因而出现短流的机会减少。

对于中心进水的圆形沉淀池,进水井的直径要不小于池子的直径的 20%,深度则应该在池子深度的 55%～65%。矩形沉淀池的挡板一般设在进水口前面 0.6～1 m 处,浸没水中深度 0.45～0.6 m,其顶部要略高出水表面。

(5)出水口设计

沉淀池出水口设计的焦点在溢流或出水堰系统。该堰(一般为 V 槽)需能够垂直调整以控制停留时间和减少短流的可能性。挡板被用来防止漂浮固体的溢出,相应地需要有撇沫槽或者机械撇沫器。

最主要的出水口设计标准是堰的负荷,其定义是堰的单位长度的流量,单位为 $m^3/(d\cdot m)$。堰的长度要足够长以使得负荷不致在池内产生上升气流或湍流。管理机构常用的堰负荷典型数值为 125～185 $m^3/(d\cdot m)$。较大的池子或特殊的悬浮固体也许会要求更高的负荷。第三类沉淀对堰负荷的增加特别敏感。

(6)深度

沉淀池的深度与预设的面积一起决定了池子的容积,因而也就决定了废水的停留时间。池子的深度应该足够深,以防止池子底部的冲刷速度影响出水口附近固体上升。当然设计的容积应该包括沉降固体的储存。

通常沉淀池深度范围为 2.4～4.5 m,停留时间是 2～4 h。这些参数均与悬浮固体的特性以及所需达到的固体去除程度有关。

(7)表面水力负荷

表面水力负荷对于沉淀池设计是一关键参数。其定义是要去除的悬浮固体或粒子的沉降速度,可表达为单位面积的流量,[$m^3/(d\cdot m^2)$]。确定第二类和第三类固体的沉降速度的技术前面已经叙述过,表 5.33 示出了不同类型沉淀的典型表面水力负荷。

表 5.33　沉淀池设计表面水力负荷

沉淀分类	表面水力负荷/($m^3\cdot d^{-1}\cdot m^{-2}$)	
	典型值	范围
Ⅰ—粒子	33～41	8～163
Ⅱ—粒子和悬浮物	24～49	24～81
Ⅲ—悬浮物	8～33	8～49
Ⅳ—浓缩	33～41	16～73

(8)固体负荷

固体负荷的定义是单位面积每天的固体量[$kg/(m^2\cdot d)$],得自污泥浓缩特性(见第四类沉淀)。活性污泥系统的典型固体负荷可高达 4～7$kg/(m^2\cdot d)$。

(9)固体收集

泡沫与污泥的收集是借助于刮板和抽水泵而进行的。刮板对沉淀的第一类和第二类固体尤为适用,抽水泵则更适合于沉淀下来的第三类悬浮物。配有抽水泵的圆形沉淀池可实现大量而快速地去除污泥。

在圆形沉淀池里,表面刮沫板和污泥刮臂(通常是两个)由中心支撑柱驱动。一个刮沫槽口设在周边的某处。将污泥沿底坡刮到污泥收集处和排放井。作为第三类污泥的下限第二类污泥的上限刮板顶端速度范围为 0.6～4.6 m/min。

吸入式污泥去除设备也是由中心支持柱驱动,但它不是从收集井去除,而是沿

底坡去除污泥。人们为了均匀的速度而使用具有一定尺寸的锥形头。吸入口也要有一定的尺寸以与池子的沉淀面积相匹配。

链式和循环刮泥机用于在矩形沉淀池里刮沫和收集污泥。一个典型的应用是水平刮进速度为 0.6～1.2 m/min。吸入式机械可以添加到滑动桥装置上。

(10)管式沉淀器

设计一个新的或改建一个现存的沉淀池,有可能需要加上一组管式沉淀器,这无论是简单的还是化学沉淀都适用。制造商提供标准组件,其最小水力半径和长度分别为 2.5 cm 和 61 cm。如果采用重力排除沉淀固体,那么管式沉淀器的角度应该在 45°～60°。

管式沉淀器内流动是逆向的,液体向上流动到出水溢流区,而固体则向下流动到管式沉淀器下面的污泥收集区。作为这种改建的在一个矩形沉淀池内流动方式的一个范例示于图 5.24。

图 5.24 管式沉淀器

管式沉淀器的成功应用的理由和主要设计考虑列于下面:

①多管提供了明显增大的有效沉淀面积。

②停留时间可缩短到一个小时以下,而不是以前的数小时。

③小的管子开口促进和保持静止条件、薄层流动和均匀流量分布。

④逆向式流动方式使得沉淀固体可以形成大块(第二类沉淀)。

保守式设计将容易符合沉淀池设计要求,但是制造商将建议和帮助用户更新废水处理中相对较新的技术的有关性能数据和设计要求。

鉴于管式沉淀器据信特别适用于化学沉淀,因而它们被广泛地应用于废水处理中。在废水处理方面,管式沉淀器在更新现存沉淀池方面是颇具潜力的,并且常

被用于出水要求进一步减少悬浮固体的化学沉淀。

管式沉淀器也有一些诸如排泥较困难、易堵以及不耐冲击负荷等弱点,故目前在城市废水处理中尚未广泛应用。

(11)楔形金属丝沉淀器

楔形金属丝沉淀器不仅可以用作筛网,而且还被成功地安装在沉淀池里,如图5.25。金属丝的网眼开口为0.125～0.25 mm。类似于管式沉淀器,楔形金属丝沉淀器与水面平行安装。最适合的应用是作为对现存的沉淀池的改进以去除生物絮凝块或其他类似悬浮固体。

图5.25　楔形金属丝沉淀器

当废水通过金属丝网眼向上流时,大块的没有沉淀的固体被阻碍而不能溢出。趋近沉淀器的速度不能太快,以免冲坏压紧在金属丝网眼上的絮凝悬浮物。

楔形金属丝沉淀器的一个特性是能够有效地通过池子的截面进行布水。这样非常有利于通过楔形金属丝沉淀器的细小固体的沉淀和絮凝。这个特性改善了处理效率,但是楔形金属丝沉淀器需要每隔几天就要停止工作而进行清洗维护(将沉淀下来的固体移走)。

基于楔形金属丝沉淀器的历史和表现,以及考虑到废水处理厂中废水的特性,很自然的,人们会想到中试。为达到一定的悬浮固体去除率,可能需要简单重力沉淀的水力负荷的约50%～100%。

5. 化学沉淀

化学沉淀是指通过添加化学药品以改善沉降性能。该过程与饮用水供应的化学处理极其相似。

(1)化学处理

添加化学絮凝剂是一种改善悬浮固体沉降特性的有效方法。这种方法也可用来改善现存的和/或超载的沉淀池的效率。

如同饮用水处理一样,在废水处理中也有一系列聚合物和其他化学药品可以用来作为絮凝剂。一些最常用的是明矾、氯化铁、硫酸铁、氯化亚铁、硫酸亚铁、石

灰、铝酸钠等。絮凝助剂,比如活性硅石和斑脱土,可能是有帮助的。一些常见的絮凝剂的优缺点列于表 5. 34。

表 5. 34 常见絮凝剂比较

絮凝剂	优点	缺点
明矾	易于使用,最常用,比石灰产生的污泥少,在 pH6. 8～7. 5 最有效果	添加了不溶性固体(盐),pH 有效区间比较窄
氯化铁	在 pH4～11 有效,并且使污泥易于脱水	增加了不溶性固体(盐)
硫酸铁	在 pH4～6 和 pH8. 8～9. 2 有效	增加了不溶性固体(盐),并且需要投加碱
硫酸亚铁	不像石灰那样对 pH 敏感	增加了不溶性固体(盐),并且需要投加碱
石灰	常用而且有效,可能并不增加 TDS,污泥易于脱水	极易被 pH 影响,产生大量的污泥,超剂量会导致出水水质变差
聚合物	通常只需小剂量,易于投加和操作	不合适的剂量会导致絮状物形成困难

对于某一特定的废水的处理可能需要预设计实验以选择最合适的化学絮凝剂和助剂。实验室实验和/ 或 zeta 电势通常被用来选定最佳絮凝剂及其用量。沉降柱被用来确定絮状物的沉降特性,并因而用于确定沉淀池设计的标准。该沉淀过程属第三类沉淀。

化学沉淀所产生的污泥包括重力沉淀的悬浮固体,加上絮凝剂所导致增加的悬浮固体团块和形成的不溶性反应产物。污泥的量可用实验加以测定。

向废水处理厂既可供应液体的絮凝剂,也可供应干的絮凝剂。处理厂如果想用干的絮凝剂则需具备如下条件:浓缩形式的絮凝剂的储存场所,为配制所需投加浓度的溶液混合罐,溶液储存罐,一套计量系统用以保证投放剂量的准确。液态絮凝剂一般由计量系统控制从储存罐直接投放到废水中。

不管是供水厂还是废水处理厂,都设有快速混合装置让絮凝剂迅速的分布因而完全地与悬浮固体反应。接着,需要一个让絮凝剂和悬浮固体絮凝(温和地混合)的过程。最后,被处理的废水排入沉淀池。

(2)固体接触沉淀池

前面所讨论的自然沉淀中的水平流沉淀池也可应用于化学沉淀。但是本节的焦点还是放在垂直流沉淀池,或者叫做固体接触沉淀池上。这种沉淀池在一个单元里实现了混合、絮凝和沉淀三个任务。在这种系统里,大量的老的絮状物仍然保持,这使得新的絮状物更易于形成。

有两种类型的固体接触沉淀池。具有矩形设计的泥浆再循环式沉淀池由于再循环而保持了一个较高的絮状物浓度(见图 5. 26)。

污泥床式固体接触沉淀池示于图 5. 27。在这种沉淀池里废水经由污泥床向

图 5.26　固体接触沉淀池——泥浆再循环式

图 5.27　固体接触沉淀池——污泥床式

上流动。污泥床起到一种筛网的作用,并且阻碍大的粒子向上,所以加快了沉淀过程。

如果有充分的生物固体存在,便会导致厌氧或腐败的条件从而影响系统的有效工作,所以说絮状物的停留可能会限制固体接触处理过程的应用。具有很大分散性的水力学运行条件和固体负荷也会给系统的性能带来负面影响。

固体接触沉淀池可以广泛地应用于供水处理、无机废水处理和高级废水处理。

要想针对一特定的废水设计固体接触沉淀池,需要先进行预设计研究和测试。应在预设计研究阶段对现存系统的表现数据进行评估。制造商则是一主要的参考信息源。

5.4.5 气浮(Floatation)

当细小的气泡进入废水后,气泡将与悬浮固体接触,从而使得它们的密度降低并漂浮到水面上,于是便可以把这些悬浮固体收集和去除。

在废水处理中气浮具有很多的应用,例如:

①去除那些沉降性能不佳的固体。

②取代那些需要更大空间的悬浮固体处理系统。

③为减少污染和/或副产品回收的工业废水处理或预处理。

④去除大量的诸如油和脂类物质。

⑤特殊的应用,比如工业运行或暴雨流量的峰值负荷处理。

⑥在脱水之前对废水处理产生的污泥进行浓缩。

通常利用化学药品使悬浮的或絮状固体增加对气泡的黏性、截留和吸附作用。聚合物、明矾、氯化铁,以及其他药品被用来达此目的。应该先做一些小试或中试以确定为达到预计结果是否需要投加化学药品。如果确需投加,那么这些试验将用来选择添加剂及其剂量。

在废水处理中根据如何供气可以区分不同的处理工艺。最常见的三种气浮处理是:

溶解空气气浮(dissolved air floatation,DAF) 这是指将空气注入一定压力下的废水中,当气浮罐子里的压力降低时细小的气泡就释放出来。

空气气浮(air floatation) 这通常指在常压下曝气。

真空气浮(vacuum floatation) 这是指在应用真空条件之前废水中空气已饱和。

DAF应用极广,因为其可以去除很多种固体。相反简单空气浮选应用就很少。真空浮选也并不频繁应用,因为其费用相对较高,并且有较高的运行和维护要求。不过,相对重力沉淀系统来说,所有这三种气浮系统都有较高的能耗支出费用,都需要更熟练的操作人员。

1. 溶解空气气浮

圆形和矩形 DAF 的设备和流动方式分别见图 5.28 和图 5.29。

对于每个具体的应用在 DAF 设计前都必须进行预设计和测试。表 5.35 列出了一些典型的设计数据和设计要求。化学药品的选择应该在预设计研究阶段完成。

图 5.28　圆形溶解空气气浮系统

图 5.29　矩形溶解空气气浮系统

表 5.35　溶解空气气浮装置设计数据

参数	典型数值	附注
压力	270～340 kN/ m^2	范围:170～475 kN/ m^2
气固比	0.03～0.05	0.01～0.20
水深	1～3 m	商品化装置
表面负荷	20～325 m^3/ d/ m^2	
漂浮停留	20～60 min	
循环/ %	5～120	利用时

2 空气气浮

空气气浮用的空气是在配有表面刮沫设备的开放式曝气罐的靠近底部位置注入的。由于这种气浮对大多数废水悬浮固体只有有限的效果,因而在设计之前特别要做中试和实验室规模的试验。

3 真空气浮

市场上可供应的真空气浮系统是一个加盖的圆形罐子,并配有曝气罐、停留罐、真空泵、浮渣和污泥清除设备。

真空气浮的设计数据见于表 5.36。这些装置一般来说比之 DAF 的悬浮固体去除效率都要低。

表 5.36 真空气浮装置设计数据

参数	典型数值
罐子直径	3.7～18.2 m
水深	3 m
真空度	230 mmHg
空气需求量	0.18～0.37 m^3/m^3废水
表面负荷	200～400 $m^3/(m^2 \cdot min)$

5.4.6 离心(Centrifugation)

在实践中只是在有限的可能的工业预处理中才利用离心作用去除悬浮固体。在这些情形中废水往往含有很高浓度的悬浮固体。离心更为普遍的应用是废水处理中污泥的浓缩和脱水,这将在后面讨论。

常见的离心机主要有篮式、碟式和转鼓式几种。带孔篮式离心机尤其适用于粗固体的去除。不带孔的篮式和转鼓式则适用于细的和粗的固体。碟式的用于细固体的去除。所有这几种离心机都可在化学添加剂的帮助下提高效率。

5.4.7 过滤(Filtration)

有效的过滤是在进水中只含有相对较低的固体浓度情况下,比如说相当于二级处理的出水。可供选择的系统主要有:颗粒滤料过滤、硅藻土过滤和超滤。细的格栅,例如微格栅,是一种很好的可供选择的单元处理,这在前面已讨论过。

因为颗粒滤料过滤能够在即便较低的悬浮固体负荷下也很好地工作,所以在废水处理厂被广泛采用。这个过滤处理将在后面的有关高级废水处理技术的章节里有详细的描述。

第五节　好氧生物处理
(Aerobic Biological Treatment)

好氧生化处理是这样一个过程:微生物利用废水中的有机物质,在氧存在的条件下,使细胞生长,其最终产物是二氧化碳和水。研发了许多种设计用以达到二级处理标准。基本处理工艺包括活性污泥、塘系统、滴滤池和生物转盘等。

5.5.1　活性污泥(Activated Sludge)

1912 年英国工程师 Clark 和 Gage 发现,对废水长时间曝气会产生污泥,同时水质会得到明显的改善。继而 Arden 和 Lockett 对这一现象进行了研究。曝气试验是在瓶中进行的,每天试验结束时把瓶子倒空,第二天重新开始,他们偶然发现,由于瓶子清洗不完善,瓶壁附有污泥时,处理效果反而好。由于认识了瓶壁留下污泥的重要性,他们把它称为活性污泥。随后,他们在每天结束试验前,把曝气后的废水静止沉淀,只倒去上层净化清水,留下瓶底污泥,供第二天应用,这样大大缩短了废水处理的时间。这个试验的工艺化便是于 1916 年建成的第一个活性污泥法污水处理厂。

在显微镜下观察这些褐色的絮状污泥,可以见到大量的细菌,还有真菌、原生动物和后生动物,它们组成了一个特有的生态系统。正是这些微生物(主要是细菌)以废水中的有机物为食料,进行代谢和繁殖,才降低了废水中有机物的含量。

活性污泥法是一种连续流好氧生化处理工艺,适用于生活废水和可生物降解的工业废水的处理。活性污泥处理工艺可得到高质量的出水。这种工艺的特征是微生物的悬浮,微生物由于曝气而和废水形成比较均匀的混合状态。这种混合体叫做混合液。基本上是微生物在氧存在的条件下把可溶的悬浮有机物氧化成二氧化碳和水。一部分有机物被用于合成新细胞或者支持现存细胞的生长,而多余的则构成废物和剩余污泥。

总处理过程包含在曝气前的预处理和/或一级处理。曝气后混合液排到二沉池,在那里微生物沉淀出来并回流到曝气池去。多余的污泥则通过泵送到污泥处理工序去。从二沉池溢出的上清液继续进行消毒和最后排放,如果有必要的话,也可做进一步的处理。

活性污泥工艺和曝气系统的评估和选择是基本的设计考虑。

1. 活性污泥工艺

下面将讨论常规活性污泥法和它的派生工艺:延时曝气法、接触稳定法、高负荷活性污泥法、分段曝气法、纯氧活性污泥法。

其他处理工艺,包括一些获得专利权的,旨在改善技术的现状。对于这些工艺,需要设计者在个案基础上加以研究分析。举例来说,序批反应器(SBR)系统就是把生化处理和沉淀结合为一体。上清液进行进一步处理,比如高级过滤器,或直接到出水消毒工序。可以考虑上清液补偿以减少处理系统的容积和达到更为协调的运行和控制。

活性污泥法是建立在混合液悬浮固体(MLSS)和 BOD(或 COD)负荷的基础上。MLSS 表现了曝气池中担任主体处理任务的微生物的量,(一些设计者更喜欢用其中的挥发性部分,MLVSS,来表示,也许更为直接的与微生物量有关)。有机负荷决定了曝气系统的设计要求。一些工业系统设计是基于 COD 或者 COD 与 BOD 之比。

最基本的用于设计一个活性污泥系统的公式见式(5.12)。图 5.30 示出了该工艺的主要构成。设计数据的典型值包括在后面对各个处理工艺的讨论中。

$$\text{容积负荷} = \frac{(\text{CIN})(\text{QIN})(\text{CMF})}{\text{ABV}} \tag{5.12}$$

式中:CIN 为进水 BOD_5浓度;QIN 为每天进水流量;CMF 为浓度质量转换因子;ABV 为曝气池容积。

图 5.30 活性污泥工艺设计流程图

F/M 是食物与微生物之比,可表示为负荷与混合液悬浮固体的比值,或者

$$\text{F/M} = \frac{(\text{CIN})(\text{QIN})(\text{CMF})}{(\text{CML})(\text{ABV})(\text{CMF})} \tag{5.13}$$

这里,CML 为曝气池中的悬浮固体浓度(MLSS,混合液悬浮固体)。

$$\text{停留时间} = \frac{\text{ABV}}{\text{QIN}} \tag{5.14}$$

ABV 可以基于容积负荷或者 CML(MLSS)和 F/ M 值进行计算而得到。

$$\text{循环百分比} = \frac{CML}{CRS - CML} \times 100 \tag{5.15}$$

这里，CRS 为回流污泥中的悬浮固体浓度。

$$\text{污泥停留时间} = \frac{(ABV)(CML)}{(QRS)(CRS) - (QIN)(CIN)} \tag{5.16}$$

这里，QRS 为回流污泥流量。

$$\text{日废弃污泥} = (CRS)(QWS)(CMF) \tag{5.17}$$

这里，QWS 为每天废弃污泥流量。

(1)常规活性污泥法

常规活性污泥法可能是“万能的”应用最广的城市废水或类似性质的废水的二级生化处理。该系统的一个最重要的优点是初期投入费用低。典型设计数据见于表 5.37，其流程图见图 5.31。

表 5.37　常规活性污泥法设计数据

参数	典型值
容积负荷	0.4～0.8 kg BOD_5/(m^3·d)
MLSS	1500～4000 mg/L
F/M	0.2～0.5 kg BOD_5/(d·kg) MLSS
停留时间	4～8 h
循环	50%～100%
空气供应	
扩散曝气	50～95 m^3/kg BOD_5去除
机械曝气	0.8～1.1 kg O_2/kg BOD_5去除
污泥停留时间	5～10 d
废弃污泥	0.4～0.6 kg/kg BOD_5去除

(2)延时曝气

延时曝气的基本原理是在曝气池里保持混合液足够长时间以使得新细胞产生和旧细胞衰减的速度相当，因而理论上将不产生污泥。事实上污泥还是会产生的，只不过数量要比其他活性污泥法少得多。常见的设计数据见表 5.38。

图 5.31 常规活性污泥工艺设计流程图

表 5.38 延时曝气系统设计数据

参数	典型值
容积负荷	0.15～0.25 kg BOD_5/(m^3·d)
MLSS	2000～6000 mg/L
F/M	0.05～0.15 kg BOD_5/(d·kg) MLSS
停留时间	24 h;范围,18～36 h
循环	75%～150%
空气供应	
扩散曝气	100～125 m^3/kg BOD_5去除
机械曝气	1～1.5 kg O_2/kg BOD_5去除
污泥停留时间	20～40 d
废弃污泥	0.15～0.3 kg/kg BOD_5去除

(3)氧化沟

术语氧化沟是用来表示一种特殊的延时曝气系统,该系统采用跑道形池子,用水平安装的(刷子或碟式)曝气器提供氧气和循环。较晚一些的这种系统的改良型是 Carrousel 型氧化沟,这种氧化沟采用垂直安装的曝气器。其他的变形还有交替工作型、Orbal 型和一体型等。目前在我国已建成了一些较为大型的采用氧化沟工艺的污水处理厂,例如:采用 Carrousel 氧化沟系统的昆明兰花沟污水厂,其处理能力达 89500 m^3/d;采用三沟交替工作的邯郸市东郊污水处理厂,其处理能力达 5.5 万立方米/d。

(4)接触稳定法

接触稳定法的前提是生物吸附、合成和絮凝在相对较短的接触时间内快速地把胶状的和不溶性的 BOD 去除。因而在容积方面的费用可以降低。随着可溶性的 BOD 比例的增加,曝气体积也随之增加到常规活性污泥法的大小,于是节约部分便变小了。

预处理或初级处理过的废水排到曝气接触池。回流污泥到再曝气(稳定池)池,在那里絮凝的或吸附的 BOD 在排到接触池之前得到稳定。图 5.32 绘出了流程,而表 5.39 则给出了典型设计数据。

图 5.32　接触稳定流程图

表 5.39　接触稳定系统设计数据

参数	典型值
容积负荷	0.5～1.1 kg BOD_5/(d·m^3)
MLSS	
接触	1000～2500 mg/L
稳定	4000～10 000 mg/L
F/M	0.2～0.5 kg BOD_5/(d·kg) MLSS
停留时间	
接触	1～3 h
稳定	3～6 h
循环	50%～100%
空气供应	
扩散曝气	50～75 m^3/kg BOD_5去除
机械曝气	0.7～1.0 kg O_2/kg BOD_5去除
污泥停留时间	5～10 d
废弃污泥	0.4～0.6 kg/kg BOD_5去除

(5)高负荷活性污泥法

高负荷活性污泥法自身还没有过处理出水的 BOD_5和悬浮固体浓度低于 30 mg/L 的历史。这种工艺的局限性是相对较短的停留时间和高的容积负荷,设计数据见表 5.40,因此主要应用于预处理,或者说二级活性污泥系统之前的处理。

表 5.40 高负荷活性污泥法设计数据

参数	典型值
容积负荷	0.8～2.4 kg BOD_5/(m³·d)
MLSS	3000～5000 mg/L
F/M	0.4～1.0 kg BOD_5/(d·kg) MLSS
停留时间	2～4 h
循环	25%～100%
空气供应	
扩散曝气	50～75 m³/kg BOD_5去除
机械曝气	0.7～1.2 kg O_2/kg BOD_5去除
污泥停留时间	2～4 d
废弃污泥	0.5～0.7 kg/kg BOD_5去除

(6)改良曝气

虽然不是二级处理工艺,但是改良曝气活性污泥法确实在 BOD_5 要求去除 50%～70% 范围内是很有用的。这种工艺采用高容积负荷,低 MLSS 浓度,短停留时间和低空气供给。设计数据在表 5.41。

表 5.41 改良曝气活性污泥系统设计数据

参数	典型值
容积负荷	0.8～2 kg BOD_5/(d·m³)
MLSS	500～2000 mg/L
F/M 比	0.75～1.5 kg BOD_5/(d·kg) MLSS
停留时间	1～3 h
循环	10%～100%
空气供应	
扩散曝气	25～50 m³/kg BOD_5去除
机械曝气	0.4～0.7 kg O_2/kg BOD_5去除
污泥停留时间	<2 d
废弃污泥	0.8～1.2 kg/kg BOD_5去除

(7)分段曝气法

分步曝气法的进来的废水是沿着池长进入曝气池的,只有回流污泥从池子的头部进入。这种处理工艺导致了一种均匀的氧气需求和对于微生物来说更为稳定的环境,对于曝气池中给定量的混合液产生的到终沉池的污泥负荷也是低的。表5.42给出了典型设计数据,其流程框图见图5.33。

表5.42　分段曝气系统设计数据

参数	典型值
容积负荷	0.5～0.8 kg BOD_5/(d·m^3)
MLSS	1000～3000 mg/L
F/M	0.2～0.4 kg BOD_5/(d·kg) MLSS
停留时间	3～6 h
循环	25%～50%
空气供应	
扩散曝气	50～75 m^3/kg BOD_5去除
机械曝气	0.7～1.0 kg O_2/kg BOD_5去除
污泥停留时间	5～10 d
废弃污泥	0.5～0.8 kg/kg BOD_5去除

图5.33　分段曝气流程图

(8)纯氧活性污泥法

纯氧活性污泥法的特征是用纯氧曝气而非空气。一般地纯氧曝气法都用盖子以求最大限度地利用氧气。其他方面纯氧曝气与高负荷活性污泥法差不多。

一个三级加盖纯氧曝气处理的示意图见图5.34,设计数据见表5.43。复杂的运行和较高的生产氧气的费用是评估这种工艺的重要考虑因素。当土地狭小和废水难处理时纯氧曝气较受青睐。

图 5.34 纯氧活性污泥法流程图

表 5.43 纯氧活性污泥法设计数据

参数	典型值
容积负荷	2.4～4 kg BOD_5/(m^3·d)
MLSS	4000～8000 mg/L
F/M	0.5～1.0 kg BOD_5/(d·kg) MLSS
停留时间	1.5～2 h
循环	25%～100%
氧气供应	0.85～1.35 kg O_2/kg BOD_5去除
污泥停留时间	1.5～5.5 d
废弃污泥	0.3～0.9 kg/kg BOD_5去除

(9)序批反应器

序批反应器(SBR)功能有点像一个间断地进水和出水的处于非稳态的活性污泥处理工艺。这种系统把生化处理和沉淀集合于一个池子里。一个 SBR 的运行程序列于表 5.44。

表 5.44 序批反应器运行程序

阶段	运行
静态加料	进水引入空闲的池子
混合加料	进水继续,混合开始。取决于混合的模式,反应器可能是缺氧,也可能是好氧,或者是二者的结合
反应加料	进水和混合继续,曝气开始
反应	进水停止,混合和曝气继续
沉淀	混合和曝气停止,澄清开始
排清液	排放清液
空闲	准备待命,重新开始
废弃污泥	在空闲阶段选择性运行

在应用于流量和/或废弃物负荷都有很大分散性的情况下,应在 SBR 之前考虑平衡补偿。这大都应用于各种工业生产废水的处理。采取何种程度的平衡补偿还要看处理目标,要视处理和出水要求而决定采取好氧、缺氧或厌氧条件。

SBR 处理后,澄清液排到进一步的处理设施去,比如高级过滤器,或者直接到出水消毒处并排放。由于呈现周期性,峰值流量可能是日平均流量的 4～6 倍,因而应该考虑澄清液平衡补偿以减少后续处理设施的规模,并使得运行和控制更为协调。

在设计 SBR 时候,应该考虑采取一些方法在出水消毒前减少澄清液排放的峰值流量。否则设计就要考虑非常高的氯化物剂量速度以满足氯化物剂量注入速度、紫外剂量容量和特大的接触池。还有,必须要考虑受纳水体接受非常高的来自 SBR 的排放的能力和容量。这个问题在位于很小的受纳水体旁的小型处理厂更为突出。

2. 曝气系统

曝气系统应该提供所需的氧气量,并且能够把氧气、混合液和废水充分地混合。活性污泥法的曝气是由扩散曝气和机械曝气系统完成的。有些设计把氧气供应和混合功能分开来。举例来说,像透平曝气系统和使用独立淹没式曝气装置的系统。

需经由对特定废水在不同季节温度下的氧传输能力的计算方可作出曝气设备的选择。计算时要用到式(5.18)。

$$N = N_0 \alpha \frac{(BPC_s - C_L)}{C_{ss}}(1.024)^{(T-20)} \tag{5.18}$$

式中:N 为真实现场运行条件下的氧传输速度,kg O_2/kW·h; N_0为标准条件下清水(制造厂家提供)中的氧传输速度,kg O_2/kW·h; α 为废水中与清水中的氧传输之比,典型值为 0.9; B 为在相同温度和压力条件下曝气在废水中与清水中饱和溶解氧之比,通常为 1; P 为现场大气压与海平面大气压之比,一般为 0.9～1; C_s为在运行温度和一个大气压条件下在清水中的饱和溶解氧,mg/L; C_L为在真实运行条件下应该保持的溶解氧,一般为 2mg/L; C_{ss}为 20℃和一个大气压的标准条件下清水中的饱和溶解氧,9.17mg/L; T 为废水温度,℃。

曝气设备是在基于预计的温度范围内较低的 N 值基础上进行选择的。

为了提供足够的混合,设计时应该确保池体内有 0.02～0.03 m^3/(min·m^3)的扩散空气供应。机械曝气系统需要 13～26 kW/km^3用于氧混合,需要 10 倍乃至更多才能保证固体的充分混合。

(1)扩散曝气

一个扩散曝气系统包括一个送风机、管网和使空气散布入曝气池的扩散器。

扩散器可根据从多孔介质产生细小气泡和另外一种产生大气泡而分类。细气泡系统具有高的氧传输效率,但是粗气泡系统则因为低的投资和维护费用有着更广泛的应用。

多孔扩散器由可以产生细气泡的陶瓷圆顶、盘、管子或塑料布管子或者袋子等组成。气流可以提供良好的混合,但是螺旋形的混合方式限制了曝气池的几何尺寸。细气泡提供高的氧传输效率、对变化的气流的适应性因而很好的运行弹性条件。在零溶解氧、20℃、和 101 kN/ m^2条件下清水中的氧传输范围为 1.1～1.5 kg O_2/ (kW·h)。

粗气泡曝气系统系由无孔扩散器构成,这种扩散器可由在管子上钻孔,或者在基座或管子上松散固定盘子和碟子而实现。这些扩散器只提供多孔型的约50 %～70 % 的氧传输,但是极少阻塞,因而运行维护费用低,系统表现好。

其他装置包括管式系统和喷气系统。管式系统配有静态混合器且可以将空气-水混合体压入垂直圆柱体,而喷气系统则混合压缩空气并将液体泵入出水端的喷口。管式系统的氧传输效率约与多孔细气泡散布器相当,喷气系统的效率还要高出 40 %。

(2)机械曝气

机械曝气的关键构成是表面或透平曝气器。机械表面曝气器可分为低速(径向流)和高速(轴向流)两种。

低速曝气器工作在 20～60 r/ min,是利用变速箱降低电机速度。该曝气器的基本配置是有一叶轮搅动水表面,改进型可能带有一个通风管和/ 或一个低混合叶轮。在标准条件下的典型氧传输效率是 1.2～2.4 kg O_2/ (kW·h)。这些装置可以是漂浮式的,也可以是固定安装的,供货可以是双速的。

高速曝气器是电机驱动且直接安装在漂浮结构上,运行在 300～1200 r/ min。由于考虑到生物絮状物的剪切和相对较低的泵容量导致的低度混合,高速曝气器被排除出活性污泥工艺,但是在曝气氧化塘中则很普遍。高速曝气器的氧传输效率基本与低速的相同。

其他类型的曝气设备包括安装在水平轴上的碟子或者刷子。因为这些设备在传输氧同时也推动水流,所以被广泛地采用于氧化沟曝气池。

透平曝气器可以将混合和表面曝气与扩散曝气分别结合,故可产生较高的单位容积输入容量(见图 5.35)。空气供应的可调性使得在运行上具有很大的弹性范围。利用一个固定

图 5.35 透平曝气器

桥,或者平台支撑,透平曝气器包括一个或多个安装在粗空气扩散器之上的低速叶轮。

5.5.2　好氧塘系统(Aerobic Pond Systems)

历史上好氧废水稳定塘系统是对于从居民区生活废水到复杂的工业废水等范围广泛的各种废水的主要生物处理方法。它们可以单独处理废水,也可以与其他处理方法结合起来。机械曝气装置的出现使得塘系统有了更多用武之地。

好氧处理塘的基本设计考虑见于表 5.45。一个三单元塘系统的物理特征示于图 5.36,一个详细的基本出水结构见图 5.37。

表 5.45　好氧废水稳定塘设计考虑

项目	典型标准
底部材料	采用黏土、混合物或者衬里以有效地避免渗漏或使渗漏最小
堤材料	使用压实的,相对不渗漏的材料,或者类似用于底部的衬里
堤顶部宽度	最小 2.4～3 m
堤坡度	最大:水平 3 比垂直 1,最小:水平 4 比垂直 1
侵蚀控制	视抵抗风和/或浪的需要
干舷高	最小:通常为 1 m
植被	水表面和水面下均无
液体深度	根据塘的类型
单元数	最少:2,通常:3
运行模式	连续,除大型系统的以外
进水结构	位于下风向,设有混凝土防溅缓冲,推荐设污泥收集区
出水结构	位于上风向,带有可调节运行水位的设备,如需要的话能排干塘
表面排水	从或者围绕塘转向
安全藩篱	最好是围起整个设施。高 2 m,门 3 m
标志	建议设警告标志
照明	按照需要

塘的形状可以是圆的、方的或者矩形的。如果是矩形的,也应该具有圆的角,并且长度要小于宽度的 3 倍。普通堤墙和挡板是允许的。方形或矩形的带有圆角和斜坡的塘容积可由式(5.19)计算。

$$V = (LW) + (L - 2sd)(W - 2sd) + 4(L - sd)(W - sd)\frac{d}{6} \tag{5.19}$$

式中:V 为容积,m^3;L 为水面处塘长度,m;W 为水面处塘宽度,m;s 为水平比垂

图 5.36　三单元塘系统

图 5.37　表面下的塘出水结构

直坡度因子；d 为塘深度，m。

好氧塘的三种基本类型是：好氧的；兼性的；曝气的。而且，塘系统可以根据水利学特征分类为连续排放式、控制排放式或者停留式（不向表面水体排放）。

1. 好氧塘

好氧塘，也叫高负荷好氧塘，利用光合作用和表面再曝气产生的氧保持整个深度的一定溶解氧的量。如表 5.46 中的设计数据所示，好氧塘是不深的且停留时间不太长。需有去藻处理控制出水中的悬浮固体。

表 5.46　好氧塘设计数据

参数	典型值
有机负荷	85～170 kg BOD_5/（ha·d）
深度	0.15～0.45 m
停留时间	5～20 d
pH 范围	6.5～10.5（随时间而变）
温度	
范围	0～40℃
最佳	20℃
BOD_5去除	80%～95%

图 5.38　好氧塘净化有机污染物示意图

好氧塘的应用受到需要温暖的、光照的气候条件以及出水悬浮固体(藻类)的限制。这些塘一般用来减少来自其他处理工艺处理过的废水中的溶解性 BOD。好氧塘净化有机污染物示意图见图 5.38。

2. 兼性塘

最常见的废水稳定塘类型是兼性塘,也叫做氧化塘,其主要特征是表面好氧区,然后梯度降低到塘底的厌氧区。设计数据见表 5.47。

表 5.47 兼性塘设计数据

参数	典型值
有机负荷	17～55 kg BOD_5/(ha·d)
深度	0.9～2.4 m
停留时间	30～180 d
pH 范围	6.5～9
温度范围	0～40℃
最佳温度	20℃
BOD_5去除	75%～95%

氧供应主要来自光合作用和表面再曝气。好氧微生物稳定有机废弃物和来自塘的较深层厌氧处理所产生的副产品。塘出口设在表面以下以减少藻类,但是需位于有较充分溶解氧的深度。

3. 曝气塘

通过在自然处理基础上增加机械曝气,曝气塘可以减少土地用量要求并能够具有对废弃物负荷和气候条件变化的强适应性。表 5.48 给出了典型设计数据。

表 5.48 曝气塘设计数据

参数	典型值
有机负荷	25～335 kg BOD_5/(ha·d)
深度	1.8～6.1 m
停留时间	5～20 d
pH 范围	6.5～8
温度范围	0～40℃
最佳温度	20℃
BOD_5去除	80%～85%

一个系统的实际设计需要考虑采取部分或完全混合(例如活性污泥法)以满足处理要求。大多数系统利用机械曝气更甚于扩散曝气,这两种曝气方法在前面关于活性污泥法的讨论中均曾有所涉及。塘深和大小均应与曝气系统相适应以免对塘的底部和堤产生侵蚀。

曝气塘系统的 BOD 去除效率是温度和停留时间的函数,可表示为

$$E = 100 - \frac{100}{1 + K_T t} \tag{5.20}$$

$$K_T = K_{20}\theta^{(T-20)} \tag{5.21}$$

式中: E 为 BOD 去除效率, %; K_T为 BOD 在温度 T(℃)时的去除系数; t 为停留时间, d; K_{20}为 BOD 在 20℃时的去除系数; θ 为温度系数, 20℃以下时为 1.135, 20℃以上时为 1.055。对于生活废水, K_{20}在 0.5～1.0 之间变化。对于某些工业废水,该值也许会高几倍。真实的 K_{20}值需要由实验室或中试研究确定。表 5.49 给出了取 K_{20} = 0.5 时停留时间和温度对曝气塘表现的影响。

表 5.49　曝气塘 BOD_5去除效率

温度		停留时间/ d						
℃	°F	2	4	6	8	10	15	20
4	39	12	21	28	35	40	50	57
6	43	15	25	34	40	46	56	63
8	46	18	30	40	47	52	62	68
10	50	22	36	46	53	59	68	74
12	54	27	42	52	59	64	73	78
14	57	32	48	58	65	70	79	82
16	61	38	55	64	71	75	82	86
18	64	44	61	70	76	80	85	89
20	68	50	67	75	80	83	88	91
22	72	53	69	77	83	85	89	92
24	75	55	71	79	83	86	90	93
26	79	58	73	80	85	87	91	93
28	82	61	75	82	86	88	92	94
30	86	63	77	84	87	89	93	94
32	90	66	79	85	88	90	93	95
34	93	68	81	86	89	91	94	95
36	97	70	82	88	90	92	95	96
38	100	72	84	89	91	93	95	96

5.5.3 滴滤池(Trickling Filter)

滴滤池工艺采用的原理是有机废水通过附着生长在固定介质上的生物膜,从而达到处理的目的(滴滤)。它的优点包括低费用、抗负荷冲击能力和易于操作等。但是另一方面它也有诸如难于达到高水平处理效果、季节变化影响大等缺点,从而限制了常规滴滤池系统对现代废水处理的一些高要求的满足。

废水中的有机部分在好氧条件下被附着在滤料介质上的微生物(生物膜)降解。由于微生物的生长,生物膜的厚度也随之增加,直至其最外层吸收了所有的有机物质,因而其紧靠介质的内层进入一种内源生长状态并失去了“攀附”在介质上的能力。失去污泥层叫做“脱皮”,是有机物和水力负荷的函数。高负荷和塔式滤池需要增加水力负荷去冲洗脱落的生物膜并使之通过滤池,因而得以避免由于阻塞而产生的厌氧条件。

滴滤池一般可根据其有机物负荷和水力负荷分类为低负荷、高负荷和塔式三种类型。该工艺也可按介质类型、深度、级数、分布模式和/或定量给料频率分类。基本物理设计要素见表 5.50。

表 5.50 滴滤池系统要素

设计要素	典型要求
分布均匀性	±10 %(单位面积的设计容积)
分布器和滤料间隔	0.15 m
滤料之上的防风墙高	1.3 m
暗渠坡度	最少要 1 %
为空气自由通过的暗渠系统设施	在设计峰值水力负荷下半满流过
出水沟道速度	平均日负荷下 0.6 m/s

历史上滴滤池的滤料采用的是石头。滤料的主要标准是表面积和空隙。有机负荷与能够处理废水的生物膜生长所需的表面积直接相关。同样的,高空隙率允许高水力负荷并且有利于氧传输。

为达到相比于常规石头系统的高有机负荷和水力负荷,注塑或其他形式的塑料(图 5.39,)与另外的耐用的、不溶解的而且能够均匀定型的滤料(例如红杉木块或条板,图 5.40),被研发出来并普遍用于新的设施。表 5.51 示出了一些滤料的表面积和空隙数据比较。

废水连续流过滤料为滴滤池内微生物提供食物,并且也可防止附着的生物膜脱水。这一点对于高负荷的塑料滤料系统尤为重要。在这种情况下,推荐的最小应用负荷或润湿负荷应该为 30～60 $m^3/m^2 \cdot d$。如果定量给水虹吸管(图 5.41)是

图 5.39　塑料滴滤池滤料

图 5.40　红杉板条滴滤池滤料

需要的,那么它就应该设计为每 3～5 min 一次以设计流量给水以提供一个近乎连续流。定量给水虹吸管在新设计中极少用到,在低负荷滤池里也应用得有限。

表 5.51 部分滴滤池滤料的物理性质

滤料	标称型号/ cm	比表面积/ (m^2/ m^3)	空隙/ %
花岗岩	2.5～7.5;10	63;43	46;60
矿渣	5～7.5	66	49
红杉	19×19×0.8	46	76
塑料	9.5×9.5×19	83～115	94～97

图 5.41 典型的定量给水虹吸管

通过分别绘于图 5.42 和图 5.43 的固定喷嘴或转动布水臂给滴滤池布水。一般的,固定喷嘴系统见于旧的和/ 或较小型的滤池,并配有定量给水虹吸管。固定喷嘴有时也用于塔式滤池。需要指出的是,对于同样的水力负荷,固定喷嘴系统对附着的生物膜具有较低的剪切力。

转动式布水系统由于其可靠性高和易于维护,因而近来获得了广泛的应用。转动式布水系统包含两个或四个臂,这些臂上的喷嘴由于喷射而产生的反作用力使得这些臂得到转动的力。当最小流量不足以提供能够满足布水系统的水力设计需要时,可以采用定量给水虹吸管加以协助。滤床的直径一般在 6～65 m。布水臂的顶部速度在峰值设计流量条件下不能高于 1.2 m/ s,臂的底部应该比滤料高出 0.15～0.3 m。

图 5.42　固定喷嘴布水系统

滴滤池应该有足够的通风[0.03 $m^3/(m^2 \cdot min)$]以保持好氧条件,而利用合适型号的沟道,往往因为空气和废水的温度差就可以借自然通风而实现。如果滤料床很深,或者负荷太高,盖了盖子,或在水平面下,那么就可能需要压力通风。一个典型的设计气流为 0.3 $m^3/(m^2 \cdot min)$。

人们研究发展了一系列的关于滴滤池的设计公式。例如:美国国家研究委员会、美国十州标准、Velz、Schulze、Germain、Eckenfelder 以及 Galler 和 Gotaas 公式等。这些公式的可应用性随各种因素,例如介质、废水类型以及再循环等而变化。中试可为设计工程师提供一个工程式的详尽而具体的方法对设计性能进行评估。由于废水温度降到 10～15℃以下时处理效果会大幅度的降低,所以必须考虑温度效应。

关于低负荷、高负荷和塔式滤池系统的设计数据和一些细节见下面。

1. 低负荷滴滤池

一个典型的低负荷滴滤池将利用石块作为滤料,并配有转动式布水器。普通设计数据见表 5.52。绝大多数的 BOD 去除是在最上面约 1 米深完成的,而硝化则是在其余深度实现的。低负荷滴滤池与相应的其他辅助设施之间的关系见图 5.44。

图 5.43 一个典型的滴滤池的截面图

表 5.52 低负荷滴滤池设计数据

参数	典型值
有机负荷	0.08～0.4 kg BOD_5/(m^3·d)
水力负荷	1～4 m^3/(m^2·d)
再循环比	无
床深度	1.5～3 m
定量给料间隔	≤5 min
脱皮	间歇的
硝化	硝化率高
澄清池表面负荷	40 m^3/(m^2·d)
BOD 通过沉淀去除	80%～90%

图 5.44　低负荷滴滤池流程图

2　高负荷滴滤池

利用再循环增加水力负荷,高负荷滴滤池从而获得高的有机负荷。多余的生物膜将连续地脱落。高有机负荷排除了硝化菌在滤床的增长。设计数据和流程图分别见表 5.53 和图 5.45。滤料为大的石块或合成的材料。为与低负荷滴滤池的处理有可比性,需采用多级结构。

表 5.53　高负荷滴滤池设计数据

参数	典型值
有机负荷	0.4～1.6 kg BOD_5/(m^3·d)
水力负荷	8～41 m^3/(m^2·d)
再循环比	0.5～4
床深度	0.9～2.4 m
定量给料间隔	≤5 min
脱皮	连续的
硝化	有限的
澄清池表面负荷	32 m^3/(m^2·d)
BOD 通过沉淀去除	65%～85%

图 5.45　高负荷滴滤池流程图

3. 塔式滴滤池

塔式滴滤池的基本功用是作为活性污泥法的前道工序的中间处理或作为二级滴滤池,以降低高的有机负荷。尽管石块和其他滤料也可以用,但是塔式滴滤池更典型的是用弹性滤料。保持水力负荷约为 45 $m^3/(d\cdot m^2)$是一个非常重要的设计参数,其他设计数据见表 5.54。塔式滴滤池需要压力通风。带有典型流通路径和结构选择的塔式滴滤池的流程图示于图 5.46。

表 5.54 塔式滴滤池设计数据

参数	典型值
有机负荷	1.6～8 kg $BOD_5/(m^3\cdot d)$
水力负荷	28～122 $m^3/(m^2\cdot d)$
再循环比	0.5～5
床深度	6～9 m
定量给料间隔	连续的
脱落	连续的
硝化	有限的
澄清池表面负荷	40 $m^3/(m^2\cdot d)$
BOD 通过沉淀去除	40%～70%

图 5.46 塔式滴滤池流程图

5.5.4 生物转盘(Rotating Biological Contactor)

生物转盘(RBC)是一种附着生物膜处理工艺,顾名思义,盘片在废水池中转动,微生物附着在安装在水平轴上的大直径的合成材料所制的盘片上,约 40% 的转盘浸没在水池中。通常,盘片直径约为 3～3.5m,转动线速度为 0.3 m/s。

RBC 系统的适宜工作温度范围是 13～32℃,因此在寒冷的气候条件下就将其关闭停止工作。

实践显示应该设计最少四级,每级至少两个以上的平行转动盘片。图 5.47 示出了一个作为生物处理工艺的 RBC 系统。RBC 系统也可以与现存的滴滤池或者活性污泥系统平行或串联组合以获得更好的处理效果和达到更可靠的处理水平。

图 5.47　生物转盘流程图

RBC 系统的设计标准和运行经验与活性污泥工艺或滴滤池相比显得较为缺乏,往往要依靠中试测试数据和相类似的处理厂的数据资料。一些比较共性的 RBC 设计性能见表 5.55。

表 5.55　转动式生物接触池设计数据

参数	典型值
单位介质表面积水力负荷	0.03～0.08 $m^3/(m^2 \cdot d)$
单位介质表面积池容积	0.005 m^3/m^2
再循环	无
脱皮	连续的
废弃污泥	0.4～0.5 kg/kg BOD_5去除
澄清池表面负荷	32 $m^3/(m^2 \cdot d)$
BOD 去除	80%～90%

第六节　厌氧处理
(Anaerobic Treatment)

起初厌氧处理主要用在诸如城市废水污泥和肉类加工废水等,但是目前由于其具有低能耗和低污泥产率等优点,已用于难降解有机废水的处理。表 5.56 列出了一系列应用厌氧处理工艺的工业名录。

表 5.56 应用厌氧工艺处理的工业

饮料生产	家禽加工
乳酪	纸浆厂
奶制品厂	有机化工
酿酒厂	淀粉厂
肉类加工	甜菜加工
石油化工	甘蔗加工
制药	制革厂
土豆加工	纺织

厌氧处理在无氧条件下把有机废物转变成甲烷和二氧化碳。厌氧分解是一个三步反应:首先把悬浮有机固体水解成可溶性有机化合物;然后酸化,把可溶性有机化合物转变成挥发性脂肪酸(主要是乙酸等);最后甲烷化,即挥发性脂肪酸转变成甲烷。

水解并非在所有的厌氧处理中都发生,但是在相当多的废物处理中,比如城市废水厂的污泥、制药废水和一些食品废物等,水解都是非常重要的反应。在某些情况下水解步骤甚至是速度制约因素。

第二步酸化是在一类总称为酸化菌的作用下完成的。酸化反应的产物主要是短链脂肪酸,最基本的是乙酸、丙酸和丁酸。这些可以通过挥发性酸分析加以测定。其他酸化反应产物包括二氧化碳和生物细胞等。酸化步骤可以在很宽的环境条件,例如 pH 和温度等条件下进行。

第三步也是最后一步厌氧消化反应是甲烷和二氧化碳的形成。对大多数有机废物,甲烷和二氧化碳的形成是起自乙酸的分解。但是甲烷也可以由丙酸和其他挥发性酸的分解而来。甲烷形成菌对 pH、温度和抑制性化合物等环境条件很敏感,并且相对产酸菌更为娇气。更重要的是产甲烷菌生长也比产酸菌慢。所以产甲烷菌往往要比产酸菌花更多的时间从抑制性条件或冲击中恢复过来。

厌氧处理可以从生化意义上定义为把有机化合物转化为甲烷、二氧化碳和微生物细胞。对于厌氧处理含氮有机物,比如生活污泥,最终产物将包括氨。被转化的有机物部分可名为净细胞产额。细胞产额的范围大约从脂肪酸的 5% 到碳水化合物的约 20%。

由于低产额系数,甲烷和二氧化碳构成了被处理的进水中有机物(COD)的转化产物的大多数。以细菌产额系数为零计,理论甲烷产额是 0.370 m^3/kg COD 降解。鉴于二氧化碳只是部分溶于水,故气产量将依赖于 pH 和碱度。计算进水 COD 的产气率时需考虑 COD 的不可生物降解部分。因为根据化学定量关系可以计算出 COD 的减少与甲烷产量之间的关系,所以厌氧消化表现能够很容易地计算

出来。

1. pH 和碱度需要

甲烷发酵的理想 pH 区间是 7～8,但产甲烷菌除非 pH 降到 6 以下,否则并不会明显受到损害。pH 越低,低 pH 时间越长,结果就越不理想,所以厌氧反应器最好要保持在 pH6.5 以上。当碳酸氢盐碱度降到 500 mg/L 以下,并且在反应器气体中的二氧化碳处于正常百分比(约 38%),pH 将降到 6.0 左右。厌氧处理含氮有机废物时产生铵和碳酸氢盐,因此处理系统的碱度会增加。铵离子(NH_4^+)与碳酸氢盐呈平衡,如果溶液中没有铵,那么二氧化碳将使得溶液成为含碳酸根离子(CO_3^{2-})的溶液。

2. 营养需求

厌氧微生物需要营养支持生长。厌氧微生物的营养需求与好氧的需求不一样,因为其细胞产额要低得多。厌氧处理的氮和磷需求通常只为好氧的 20%。对于典型的好氧处理,COD∶N∶P 之比为 100∶5∶1,而对于厌氧这个比值则为 100∶1∶0.2。特别的氮和磷需求决定于要降解的有机化合物的性质以及处理系统的污泥龄。

厌氧微生物的生长不仅需要氮和磷,而且也需要其他营养。这些营养(硫、铁、钙、镁、钠和钾)基本上在许多工业废水中都有足够的浓度。但是也有些废水中这些营养不足,需加以补充。

3. 温度

与其他生化处理工艺一样,厌氧菌也可分为 3 个温度范围。一般地,厌氧系统的温度越高,基质去除速度和细胞衰变速度越快。正常情况下大多数厌氧反应器运行在中温(25～40 ℃)和高温(50～70 ℃)下,而高温系统比之中温系统只需要一个较小型的反应器。但是由于其低的细胞产额,高温处理工艺启动很慢,而且在抵抗负荷、基质特性的变化或有毒化合物等方面的能力很弱。

4. 毒性

通常认为甲烷微生物在所有有机废水厌氧处理中所涉及的微生物中对毒性最为敏感。尽管如此,甲烷菌如同大多数微生物一样仍然对很多毒性物质具有抵抗能力。并且许多毒性有机物能够在厌氧反应器里被降解,所以产甲烷菌可以避免受它们的影响。对有毒化合物的适应性和毒性效应的降低是可以预期的,化合物的毒性与其浓度、暴露时间和通常的本底浓度有关。

阳离子的毒性往往甚于阴离子。一些常见的阳离子的毒性和/或抑制浓度示

表 5.57 不同离子的抑制浓度

种类	刺激/(mg/L)	轻微抑制/(mg/L)	强烈抑制/(mg/L)
钠	100～200	3500～5500	8000
钾	200～400	2500～4500	12000
钙	100～200	2500～4500	8000
镁	75～150	1000～1500	3000
氨	—	1500～3000	3000
硫化氢*	—	—	300

* 可溶性硫化氢。

于表 5.57。许多这些种类的阳离子在低浓度时显刺激效应,在高浓度则显毒性。

可以用加进对毒性离子有对抗作用的另外一些阳离子(对抗剂)的方法来防止中毒。例如,钠的毒性可以由加进钾来减低,并可加进钙来进一步降低。这种具有对抗作用的离子最好以氯化盐的形式加入。如果难以获得对抗剂或对抗剂太昂贵,那么最好的防止中毒的方法是稀释。

硫化氢一直被认为会使厌氧微生物,特别是产甲烷菌中毒。在严格的厌氧条件下,硫酸根离子(SO_4^{2-})被生化还原成硫离子(S^{2-}),并与不同形式的硫化氢(H_2S,HS^-等)建立了平衡。据报道总溶解性硫化物在厌氧消化中的毒性浓度为200～300 mg/L。

毒性浓度将依赖于废水的 pH。在高 pH 时毒性较弱的硫化物形式,HS^-处支配地位,而当 pH 低时则毒性较强的 H_2S 占主导。如果 pH 处中间,那么这两种硫的浓度将相近。

要防止硫化氢的毒化,以下方法可以考虑:

①避免硫化氢或硫酸根被引入废水。

②把废水稀释至毒性阈值之下。

③通过加入铁或铝盐使得形成不溶性的化合物或沉淀以除去厌氧反应器中的硫化氢。

④把硫化氢从废水中洗涤出去。

5.6.1 反应器类型(Reactor Type)

厌氧微生物既可以是悬浮状态,也可以是固定膜。设计厌氧反应器旨在优化厌氧微生物的生长环境。

1. 悬浮生长系统

悬浮式反应器的三种基本形式为厌氧塘、厌氧接触系统和上流式厌氧污泥床。

(1)厌氧塘

厌氧塘通常是当无须进行严格控制和不要求高质量出水情况下应用,并不一定要控制温度,根据池子里的保持时间和出水要求决定是否设沉淀池。澄清池的污泥基本上不回流到厌氧塘。该处理工艺往往用作工业(例如肉类加工或食品加工)废水在接入城市污水处理厂或进一步的就地处理系统之前的预处理。典型的设计数据见表 5.58。有机物质去除率,按 BOD_5 计算应该在 40%～75%,这取决于废水的类型和温度。这些厌氧塘的规模决定于水力停留时间或者是容积有机负荷。

表 5.58　厌氧塘设计数据

参数	典型值	附注
停留时间	15～30 d	范围:1～50 d
深度	3～3.6 m	范围:2.4～6.1
有机负荷	0.05～0.25 kg BOD_5/(m^3·d)	因为废水特性缘故而有极大的分散性
pH	7	范围:6.8～7.2
温度	30～35℃	范围:7～95℃
单元数	两个以上	平行运行
BOD_5 去除	70%～80%	范围:50%～90%

厌氧塘主要靠塘内及底层沉淀物厌氧分解。塘内几乎没有藻类。这种塘可以承受高负荷,占地少,深度大,但产生臭气,对温度比较敏感。它常与好氧塘或兼性塘串联使用。

厌氧塘的深度一般在 2.5～4 m。其 BOD 负荷随地理位置而有很大变化。表 5.59 给出了一些厌氧塘的运转数据。

有人提出,城市生活污水处理厌氧塘的停留时间可采用 5 d 左右。

表 5.59　处理工业废水的厌氧塘运转数据

废水类型	BOD_5 浓度/(mg/L)		BOD 去除率	BOD 负荷	温度
	进水	出水	/%	/[g/(m^3·d)]	/℃
肉类加工废水	940	458	58.2	250	25
	1880	350	87	500	22～27
	1703	122	92.8	144	24
果品废水	3380	445	86.8	63	—
西红柿废水	982	599	39.8	540	14～24
酒厂废水	2164		47.5	250	—
化工及酿造废水	10000	2000	60～80	—	5～15
粮食加工废水	< 4000	—	58	—	21
牛奶厂废水	1030	160	85	144	29

使用厌氧塘最突出的问题是臭气。为了控制臭气,可以降低有机物负荷,或者将好氧塘的出水回流到厌氧塘,以在厌氧塘的表面形成一个好氧层。广州市郊利用城市污水产生沼气的厌氧塘,在表面上加一橡皮浮动罩以收集沼气,既可防止臭气四溢,也可在冬季保温。

(2)厌氧接触法

厌氧接触工艺(见图 5.48)是一个悬浮生长系统,并设有一个重力固体分离单元,与活性污泥法一样用于生物固体的再循环。不过当生物固体从厌氧反应器出来的时候它们很活跃地产生气体,所以采用一个真空脱气器脱去可能会干扰固体沉淀的超量的气体。有效的沉淀和固体循环是系统合适控制的关键。

图 5.48 厌氧接触反应器

(3)厌氧上流床

第三种类型的厌氧悬浮生长系统在基本原理上与厌氧接触处理类似。上流床采用了将厌氧反应器和固液分离器合为一体的结构(见图 5.49)澄清液向上流出。在反应器里的接触时间与流量和容积有关。固体浓度通过定时排除废弃生物固体得到控制,而澄清净化则通过控制反应器里上流速度小于生物体沉淀速度而得到保持。固体控制技术是该处理工艺的关键。系统的设计和运行主要基于要保持颗粒体和絮凝生物量,它们在允许固液分离和微生物生长得到控制的同时能够使有机物被有效去除。系统的其他一些方面,例如有机负荷、温度、pH 等与厌氧接触处理类似。

2 固定生长系统

鉴于悬浮生长系统在澄清净化方面比较困难,通常会在没有悬浮固体的情况

下采用固定生长系统。最常见的类型主要有升流式、降流式和流化床。

(1)厌氧升流滤池

厌氧升流滤池含有塑料、木材或其他类似材料以提供微生物附着生长的场所。这些滤料可以随意堆放也可有序安放。滤料随意堆放的例子有鲍尔环和粗集料等,而有序堆栈的例子有倾斜的或垂直的波纹板。如图 5.50 所示,升流式反应器往往在底部设有一个开放的空间用以收集和移走固体。

反应器往往包括一个系统,该系统可以将诸如氮气或者收集的反应器气体这样的压缩气体注入滤料,用以搅动床体和推动固体的脱落或者去掉床体的阻塞。反应器的溢出流量可以用来循环以达到 pH 控制。回流比决定于进水负荷,曾经有过高达进水流量 10 倍的回流比的设计。

图 5.49　厌氧上流床

图 5.50　厌氧升流滤池

图 5.51　厌氧降流滤池

(2)厌氧降流滤池

厌氧降流滤池在若干方面具有与升流滤池的相似性。然而含有像垂直波纹板那样堆栈滤料的降流滤池能够处理含有很高浓度悬浮固体的废水,因为固体可以被从滤料中冲洗走。向下从滤料流过的出水被回流到反应器的顶部。图 5.51 绘出了该系统。

(3)厌氧流化床

另外一种形式的固定膜厌氧系统是流化床工艺。厌氧流化床以一种升流模式运行,具有高回流比[575～975 $m^3/(m^2 \cdot d)$],利用沙子作为微生物附着生长的惰性滤料。该系统的一个典型流程图见图 5.52。这种设计的一个优点是生物生长所需的单位容积的高比表面积,由此产生的结果是对各种废水的高负荷[5～20 kg COD/$(d \cdot m^3)$],这意味着小型反应器可达到与其他具有较大体积的厌氧处理相同的去除率。缺点是流化该床体所需的高能耗。一个重要的工艺关键是为了排放固体和回用沙子所需进行的超量的生物量和沙子的分离。

图 5.52 厌氧流化床

图 5.53 复合厌氧反应器

3. 复合系统

也可以把悬浮生长系统和固定生长系统结合起来成为一个反应器,这种系统是升流式反应器,并在底部设有一个开放式空间用以促进悬浮微生物生长,而上部则包含一个可交叉流动的或类似结构的滤料,其目的在于促进附着微生物的生长

并且创造一个环境让悬浮生长微生物沉降到下部区间去。示意图见图 5.53。

4. 设计考虑

研发了许多模型用以描述厌氧处理。基于有限基质浓度和微生物生长速度的 Monod 动力学描述成为大多数厌氧消化模型的基础。另外一些研究者则用一级模型描述厌氧处理。最好的用于描述厌氧处理动力学的模型应该基于从废水可处理性研究得来的有关数据。因为厌氧可处理性研究耗时耗钱,所以设计一个厌氧系统常常建立在 COD 或 BOD_5 测定所表示的有机负荷基础上。COD 负荷定义为单位时间单位容积的 COD 量。

利用 COD 负荷设计厌氧处理的典型数据总结在表 5.60。可以由不同反应器结构获得可比去除率。厌氧反应器的分散性极大的有机负荷主要是因为废水的不同、保持系统中生物固体浓度的成功程度以及反应器的温度。

表 5.60　厌氧处理设计数据

厌氧反应器类型	典型 COD 负荷数据/[kg/(m³·d)]
塘	1～2
接触	1～5
上流床	5～10
升流滤池	1～10
降流滤池	5～15
流化床	5～30
复合	5～20

第七节　水生植物系统
(Aquatic Plant Systems)

水生植物处理系统由一个或多个生长着一种或一种以上的有着自由漂浮或悬浮根的导管植物的浅塘构成。较浅的塘和水生大型植物是水生植物处理系统的特点,而稳定塘中的则是藻类,这就是它们的主要区别。在相同或较短的停留时间内由于有大型植物的存在水生植物处理系统可以有比稳定塘更好的出水。

在水生系统,如同发生在常规滴滤池系统一样,废水主要是由于细菌的新陈代谢和物理沉淀而得到处理。水生植物自身实际上并不具有什么处理功效,其功能主要是营造一个可以改善废水处理能力的水环境,并且可能改善环境的稳定性。水生植物与生在陆地上的植物有着相似的基本营养需求,也被同样的一些环境因素所影响。水生植物处理系统被设计用来达到特殊的处理目的和要求,可以被分

成两个类型:

①浮水植物。最常见的包括:水葫芦、浮萍和石莲花等。系统可以根据这些植物直接从环境获得所需的二氧化碳和氧的能力而加以区分。自由漂浮和悬浮根植物从水中获得它们的矿物营养。

②沉水植物。这些系统可能包含诸如伊乐藻、西洋蓍草和豆瓣菜等,可以根据它们从水中吸收氧、二氧化碳和矿物的能力加以区分。沉水植物可被高浊度抑制,因为它们的光合作用部分在水下。

5.7.1 浮水植物系统(Floating Plant Systems)

浮水植物的光合作用部分在水表面或刚在水面之上,而根部则延伸入水中。进行光合作用时浮水植物利用环境中的氧和二氧化碳,营养则利用根部从水中吸取。这些根对于过滤/吸附固体和细菌生长是极好的介质。根系发育(生长速度)是水中营养可获得性和植物营养需求的函数,所以在实践中植物根系的密度和深度将受废水水质/预处理以及影响植物生长速度的温度和收获等因素的影响。

由于浮水植物,阳光的穿透进入水体和气体在水和环境之间的转移会受到限制,因此当浮水植物的发展趋向于几乎排除藻类生长时,兼性或厌氧条件的形成可能决定于以下设计参数:有机和水力负荷,所选择的植物的种类和覆盖密度。

1. 浮水植物

水葫芦和浮萍处理系统是最普通的,主要用于进一步的深度处理以提高稳定塘出水的质量或者作为高级处理的一个组成部分。水葫芦作为深受欢迎的细菌生物支持媒介,其最主要的特点是它们量大面广的根部和快速生长能力。浮萍可以单独组成处理系统也可与水葫芦共同组成一个多培养系统。

(1)水葫芦

水葫芦是一种多年生有着圆的向上的光亮绿叶和带刺淡紫色花朵的淡水水生导管植物。该植物的叶柄多孔而富有弹性,具有很多的储气空间,因此使得水葫芦可以漂浮。生活在废水中的单株水葫芦从花的顶部到其根尖的长度可达0.5～1.2 m,开始都向侧面横向扩展,直至水面都已被覆盖之后垂直发展才开始增加。水葫芦是非常多产的光合作用型植物。这些特性在废水处理中构成了水葫芦的优点,然而非常快速的生长也曾对水体造成许多麻烦,直至人们找到了可对之加以生物控制的方法后这种负面影响方始不太彰显。

水葫芦主要以无性繁殖的方式繁衍,但当亲本被移走后种子也可作为主要种源。水葫芦有着很大的遮篷,这为其在同一系统中与其他浮水植物的竞争中提供了很好的有利条件。事实上水葫芦可用来减缓稳定塘中出水由于藻类水华危害而导致高悬浮固体浓度问题。

(2)浮萍

浮萍是一种小型的有着宽度从 1 到几毫米的细小的叶的绿色淡水植物。Lemma spp.和 Spirodela spp.有着短短的根,通常不超过 10mm 的长度。浮萍是最小的和最简单的开花植物,其繁殖速度也属于最快之列。叶子上的小细胞分裂并形成新的叶子,每一个叶子在其生命周期至少要繁殖 10～20 个新叶子。Lemma spp.在 27℃的废水出水中成倍地生长新叶,因此往往只要四天就可覆盖水面。

浮萍系统可按兼性塘的常规设计程序进行,但浮萍覆盖系统的出水在 BOD_5、悬浮固体和脱氮等指标方面要胜过常规兼性塘。浮萍系统的出水已近乎厌氧,故后曝气也许是必须的。浮萍系统还有一个胜过常规兼性塘的是出水中藻类的低浓度。

2　温度

与其他生物处理一样,水生植物系统的生长速度依赖于温度,不管是空气温度还是水温在评估植物活力时都是十分重要的。水葫芦系统进一步的广泛应用的一个限制就是其生长对低温非常敏感,而浮萍在这方面就要胜过一筹,它可以在 7 ℃的温度下生长。

水葫芦生长的理想水温是 21～30 ℃。在流动系统水葫芦可以短暂地耐受 0 ℃的空气低温。如果降低或保持在接近 0 ℃的条件下,那么叶子就会被摧毁,进而植物也死亡。如果打算在较冷的气候条件下应用水葫芦系统,那么就需要将其放在温室中以保持理想的温度。另一方面如果空气温度在 30 ℃以上也会烧毁/ 破坏水葫芦的叶子。

3　风

水葫芦和浮萍(特别是浮萍)对风比较敏感,可能会被风吹到塘的下风一侧,重新分布这些植物需借助人力。如果没有重新分布这些植物,也许藻类会乘机占领空间,从而提高 pH,最终导致处理效果的降低。水葫芦对 7.5～8 之上的 pH 比较敏感。另外堆积的植物的分解腐烂也会产生气味。浮萍系统的一个基本缺点是它们根系很短,对风特别敏感。

4　系统结构

通常将水生植物处理系统设计成较浅的有着大的长与宽比值以减少短流的可能性,并易于收获。池子不宜大,也可用表面挡板将空间隔小,以减少风吹走植物造成的麻烦。挡板和歧管进水分布系统的采用帮助延长停留时间。进水歧管和多进水口/ 分级饲水系统也可以用来有效地循环处理过的出水以降低进水中废水成分浓度。一个穿越池子的进水歧管系统有助于保持一个较低的进入歧管的速度,

从而能保持近出水口的静止条件。如果计划了可变运行深度,那么就可以在一个低于大多数浅运行深度之下的 0.3 m 深处排放出水。

5. 设计考虑

水生植物系统的设计参数包括:有机负荷、水力负荷、水深、停留时间和收获/生长管理。基于所需处理水平的设计参数见表 5.61。利用浮萍在兼性塘对出水进行改善提高的设计标准总结概括在表 5.62。

表 5.61 水葫芦系统的设计标准

因素	水葫芦系统的类型		
	好氧非曝气	好氧非曝气	好氧曝气
进来的废水	筛滤或沉淀的	二级出水	筛滤或沉淀的
进水 BOD_5/(mg/L)	130～180	30	130～180
预计出水			
BOD_5/(mg/L)	<30	<10	<15
SS/(mg/L)	<30	<10	<15
TN/(mg/L)	<15	<5	<15
BOD_5负荷/[kg/(ha·d)]	40～80	10～40	150～300
水力负荷/[m^3/(ha·d)]	>200	>800	550～1000
水深/m	0.5～0.8	0.6～0.9	0.9～1.4
停留时间/d	10～36	6～18	4～8

表 5.62 改善出水浮萍系统的设计标准

因素	二级处理
进来的废水	兼性塘出水
预计出水	
BOD_5/(mg/L)	<10
SS/(mg/L)	<10
TN/(mg/L)	<5
BOD_5负荷/[kg/(ha·d)]	22～28
水力负荷/[m^3/(ha·d)]	>50
水深/m	1.5～2
停留时间/d	15～25
水温/℃	>7

(1)有机负荷

有机负荷是水葫芦系统的设计与运行的关键参数,而水葫芦又是在水生植物

处理中占据大多数。根据溶解氧水平和曝气方法可以把水葫芦系统分为三种类型:

①好氧非曝气。用于对筛滤或沉淀的废水进行二级处理,这是最常见的一种类型。

②好氧非曝气。用于二级处理废水的营养物去除。这种系统可以在没有蚊子和气味的场合表现良好,如果再曝气,那么可以接受高有机负荷并可减少用地需求。

③好氧曝气。用于对筛滤或沉淀的废水进行二级处理。

(2)水力负荷

应用于水葫芦系统的水力负荷变化极大,并且一般地由有机负荷决定。在目的是二级处理时,典型水力负荷范围为 200～600 m^3/(ha·d);如是进行附加曝气的高级处理,则水力负荷可以达 1000 m^3/(ha·d)。

(3)水深

水葫芦系统的水深范围是 0.5～1.4 m,但绝大多数的应用水深是 0.6～1 m。最重要的注意点是保证足够的水深让水葫芦的根系能够在水塘中流动。有时在一系列的塘中的最后一个塘里会出现较大的水深,因为此时水中的营养比较缺乏,所以水葫芦的根必须足够长以保证能够吸取需要的养分。

(4)生长管理

生长管理包含水生植物的收获,并且与许多因素有关,例如该系统的出水水质目标、植物的生长速度、象鼻虫等捕食者的效率等。收获是必要的,因为要保持一定量的具有旺盛代谢能力的植物,并且氮磷的去除也是借助于比较频繁的收割。

植物生长可以表示为一定时间内塘表面积的覆盖百分比,或者以单位表面积的湿植物量表示的植物密度。疏松的水葫芦可以一个较低的密度(10～15 kg/m^2)覆盖水面,并且能够防止由藻类生长带来的麻烦。当生长到峰值时叶子死亡,增加了塘的负荷,此时水葫芦可达 50 kg/m^2的高密度。因此在水葫芦达到最高密度前就要收割,这种收割的频度最好能使得密度保持在 15～25 kg/m^2。

收获的植物一般地都加以干燥然后填埋。干燥时会产生强烈的气味。堆肥方法有时也用来干燥和稳定收获的植物,然后施用于草场等。水葫芦可以切碎后进行厌氧消化产生甲烷,可以与其他材料混合作为饲料,也可发酵获得酒精。这些技术需要在较大规模运行以获得一些有价值的副产品。

6. 营养物质去除

被植物摄入的氮只有通过植物的收割才能去除。由于硝化而产生的硝酸盐通过反硝化还有和有机氮一样通过植物摄入加以去除。过去对硝化或植物摄入是否是导致最终氮去除的基本氨氮转换机制曾有疑问。典型氮负荷为 450～900 kg/(ha·d)。

从大型水生植物系统去除磷主要是通过植物摄入、微生物固定进入植物组织、底层的沉淀等作用。因为磷滞留在系统里,所以其最终的去除主要是植物的收割和沉淀物的清除。典型的磷负荷范围为115～230 kg/ (ha·d)。一些特殊的情形是在植物系统形成之前就曾清除过磷,那么磷的量可能就比较有限。

5.7.2 沉水植物系统(Submerged Plant Systems)

沉水植物既可是悬浮在水体,也可是植根在底部沉淀淤泥中。一般地它们的光合作用部分是在水体中。利用半淹没型植物改善出水的可能性,至少在理论上是存在的,是有吸引力的选择之一。这些植物被藻类生长而遮蔽的可能性,被厌氧条件所杀死或严重伤害的可能性限制了它们的实际应用。

沉水植物的一个优点是促进了对有机氮的去除。从水体去除氨与光合作用有关,通过光合作用从水中去除二氧化碳(与水葫芦不同),提高 pH 并使得氨成为气态从而散入环境中去。对于鱼来说氨气是毒性最强的。这种机制引起了对食蚊鱼健康群落的关心,而水生植物处理塘中的食蚊鱼的存在是被鼓励的,因为它们的存在可以控制蚊子的数量。

第八节 湿地处理系统
(Wetland Treatment Systems)

人工湿地废水处理系统相对那些常规机械系统而言是易于操作和维护并且能量利用率高。人工湿地处理系统包括自然湿地的修复、提高那块地区的审美价值,并提供作为自然学习区的教育价值。植物群落、存水周期、土壤等条件是影响建设一个独特的湿地系统的主要因素。

很长时间以来,湿地系统在处理从来源于林地的降雨径流污染直到有目的的社区污水排放中扮演了重要角色。很多湿地废水处理主要是细菌代谢和物理沉淀。研究湿地功能和价值(表 5.63)仅仅是认识湿地系统是如何作为一个废水处理设施的最基本的第一步。

表 5.63 湿地功能和价值

洪水储存	营养去除/驻停
减少泛滥	化学和营养物质吸附
侵蚀控制	食物链支持
沉淀稳定	鱼和野生生物栖息地
沉淀/毒性物质滞留	迁徙水鸟使用
地下水重新充实/排放	消遣娱乐
自然水净化	独特性/遗产价值

建设人工湿地处理系统可能涉及到的工作从利用自然的湿地加以构建,直到牵涉到大量的土方转移和构筑不渗漏的隔水层等。这些湿地系统可以根据其主要的水流模式,地面之上还是地面之下而加以区分(见图 5. 54)。

图 5. 54　湿地处理系统水流模式

FWS——地表流系统(free water surface system)有浮现出来的生长植物群落,包括池子或沟道、防渗漏的挡堰、较浅的水深,还有较低的水流速度。

SFS——潜流系统(subsurface flow system)有浮现出来的植物群落,所有水流都通过暗沟或河床阴沟网络,有防渗漏的挡堰,并且水的流速非常低。SFS 系统也叫做植物潜流床(VSB)系统。

人工湿地系统的设计要因地制宜。一个 FWS 系统可以是好几个单元的串联或并联。高的长宽比有利于推流特性。主流地形特性可加以修改利用以发挥更大的自然效应。SFS 湿地系统的结构包括平行的多床,由于这些系统要保持非常低的速度,因而需要设计为较小的长宽比。

5. 8. 1　场地考虑(Siting Considerations)

考察选择湿地处理系统的场地的一些基本考虑包括:

①邻近预处理设施,并且有可接受的排放点。

②恢复退化了的湿地动植物生活环境的可能性。

③生长群落或覆盖类型的鉴定。

④有可能为一系列物种提供生活环境。

⑤现存表面或地下水水文学研究。

⑥土壤分类。

⑦描绘地形特点。

在开始现场研究之前要充分收集和分析利用可能获得的有关数据资料进行场地的预选。

1. 水文学

水文学是控制处理厂构成的最重要的物理要素。水文周期,指的是每年度水淹没与水深之间的关系,是成功地开发一个湿地处理场所的关键所在。系统性能表现依赖于其保持水和控制水力的能力,需注意现场流入、流出、渗透特性及其与地表水和地下水的关系。在最终湿地系统设计时需考虑每年当地气候因素(降雨、蒸发和温度)和它们的水文学影响。

2. 土壤

不管是对天然的还是人工的湿地处理系统土壤都是最重要的物理成分之一。矿物质、有机质、湿度、温度、化学组成和深度等对何种植物能够良好生长在表面以及微生物生长在土层有着极大的影响。对于湿地处理系统,土壤类型(矿物质和有机质,表 5.64)及其特性(渗透性和排水)都是很重要的影响因素,其中渗透性尤其重要,因为这与水或空气通过土壤直接相关。表层下的不渗透层可以影响水向土壤内的渗透或排放。

表 5.64 矿质土和有机质土性质比较

性质	矿质土*	有机质土
密度	高	低
排水能力	差	中等
有机碳	小于 12%～20%	大于 12%～20%
渗透性	低	中等
pH	中性偏微酸	酸性,pH 小于 6
吸附容量	高	低

* 高黏性含量的矿质土。不针对高含沙的土壤。

对大多数有机质土。不针对高度降解的,例如泥煤式土壤。

因为必须要控制地表水位,所以 FWS 湿地系统需要非常低渗透性或者不渗透的土壤,除非那儿有天然的不渗透层隔绝漏水。

对于 SFS 湿地,粗糙含沙高渗透性的土壤是可以的,但是需要有天然的或人为的地表下的不渗透层以防止废水垂直渗漏迁移。这种隔离层阻挡的一个基本功用是为湿地植被保持需要的水。在一些地下水很浅的地方,这种不渗透层也用以保护地下水免受污染。

土壤类型会影响废水处理结果,例如黏土(由于它们的吸附容量)可以在去除磷和金属方面扮演重要角色,而对于矿质土磷可被化学沉淀。土壤单独在达到特定处理目标上也许不是很有效的,但是在另一方面,有机土壤尽管基本上对去除金属或者磷并无帮助,但却有助于氮的去除。

3. 地形

通常,地形对于建设一个 FWS 湿地来说并非是场地选择的决定性制约因素,但因为出于土壤和排水的考虑一般较喜爱农田、牧场和洼地等垂直起伏不大的场地。这些场地是可以支撑堤或护堤的,也可以承受非可控的外来大股水流的物理冲击。对于穿过分地层的重力水流,每地层间的 0.7m 的高程差是必要的。

对于 SFS 湿地系统,地形是重要的。需要有 1% 以上的坡度以形成重力系统。场地的准备往往构成了这两种湿地的主要建筑费用。

5.8.2　设计考虑(Design Considerations)

湿地系统处理废水可以大大减少耗氧物质(BOD 和氨)、悬浮固体、营养物质(氮和磷),以及金属等其他污染物。初级、二级和进一步的去除机制包括:物理的、化学的和生物学作用,以及植物的吸收。

湿地的设计包括处理标准的确定,湿地物理性质的定义,湿地植物的选择等。湿地的设计标准与其他常规设施所涉及的类似,比如:BOD、营养负荷、水力负荷,还有停留时间等。如果是 FWS 系统,还要加上水深。提前确定在应用湿地之前须做什么程度的前处理是很重要的。

1. 前处理

应用湿地系统之前的前处理水平是决定方案的主要内容。前处理不仅影响到湿地处理的标准,而且是方案考虑的结构和其他一些物理性质的主要决定因素。一般来说,前处理程度越高,湿地所需的土地面积就越小。当然相应的整个处理所需资金和运行费用也随着前处理的强度增加而增加。

预处理以去除粗沙和大的固体与初级处理以去除可沉降的固体和一些 BOD 应该是有限的。前处理对于二级处理甚至高级处理都是很有价值的。这些易降解的废水非常接近于那些浓度低的易被自然湿地吸收的废弃物,这也是湿地的一个基本价值。

2. 生物化学需氧量

生物代谢是湿地系统去除 BOD 的基本过程。水体中的各种微生物将消耗掉可溶性有机废物。在土壤和沉积物(有机物)层,有机物被土壤吸附,然后被微生物

氧化为稳定的终产物。沉淀对于 FWS 系统和渗滤对于 SFS 系统都是去除与悬浮有机物质相关的 BOD 的过程。

FWS系统的最主要生物活动来自于藻类和/或微生物,微生物附着在植物的茎秆和叶的组织里生长。SFS 系统的负荷可能会因为氧的限制而较低。植物的根系统是处理效果的关键,所以选择何种植物特别重要。

BOD 负荷的选定须考虑一个面积范围内基于微生物代谢所需的氧和大气(FWS)与植物生长所能提供的氧而确定的有机负荷/需氧量。一些 BOD 可能会帮助反硝化,但是反硝化细菌所需的碳源基本上是有机土壤和茎叶提供的。

在一个 FWS 系统,处理过程是以推流条件下的附着生长生物反应器为特征的。这是因为初级处理的机制,特别是对于 BOD,是附着在暴露于单通道废水流的湿地植物的微生物提供的。此外,藻类也与它们在兼性/氧化塘系统所做的那样对于湿地系统处理废水作贡献。同样的如果没有经过系统的过滤,那么藻类将会增加出水中的悬浮固体和 BOD。

一般的 BOD 负荷无论是 FWS 还是 SFS 湿地处理系统均约为 112 kg/(ha·d)。这个负荷值约为通常兼性塘的最大值的两倍。附着的细菌群落和湿地植物的氧气传输能力决定了湿地处理系统的高负荷。在实践中,由于高水平的前处理和二级处理,真实的 BOD 负荷可能很低。其他一些限制因素,如营养负荷,决定了土地面积需求。

3. 悬浮固体

无论是点式还是分布式设计,前处理没有去除的可沉降固体均可在 FWS 的早期阶段,在位于进水口下游的静止的浅区域被去除。特别地,如果废水只受到很少的前处理,那么分布式进水设计须考虑防止由于污泥淤积所导致的不利或有害情况的产生和发展。在 SFS 湿地,可沉降固体在废水通过暗渠系统时被过滤掉。

两种湿地处理系统的胶体悬浮固体去除的基本机制都是微生物代谢。在 SFS 系统,会有一些过滤和/或吸附。在 FWS 湿地,一些悬浮固体可能会以藻类形式产生,它们也会导致溶解氧浓度的昼夜变化。

4. 营养物

湿地是控制氮和磷等营养物质的有效方法。湿地系统去除营养物质的机制是直接的植物吸收、化学沉淀、藻类和微生物的吸收、土壤吸附、硝化/反硝化以及昆虫和鱼类吸收。

系统中植物的密度和类型及其叶子区域决定了这些机制的直接和间接表现。植物的选择主要基于所选植物要能满足处理要求,并且能够在系统的给水周期和其他环境条件下建立可以生存的稳定的群落。所选植物要能够共生,并基本能够

终年覆盖。

氮和磷须同时加以考虑。硝化作用减少氨氮须在有充足氧供应条件下发生。反硝化去除氮需要碳源以完成转化。湿地去除氮的一个非常重要的考虑是植物吸收后再循环到沉积。设计须考虑防止这些沉积的氮释放到水体中去。作为湿地的一个保守因素,磷并没有去除,而是沉积储藏或排放掉。

尽管氮/磷比率对于湿地功能是重要的,但是并不一定要列入限定值。事实上,报道的设计负荷是很不同的,氮负荷可能为 1.1～4.5 kg/(ha·d),而磷负荷则为 0.11～0.34 kg/(ha·d)。湿地处理废水看来很快将有氮限定。

氮去除的基本机制是系统的微生物所进行的硝化和随后的反硝化过程。其他机制包括:氮固定,矿化,化学转化。

在自然条件下,活着的浮水植物氮/磷比值约为 7:1。当高浓度氮或磷发生时,植物可能增加它们的吸收,一种超额的吸收或称作过度摄取。

大型植物之间会竞争,也会和微生物竞争超量的氮。出于去除氮的目的,微生物可能更受青睐,因为它们在反硝化时使氮终极地下降——散逸进入大气。湿地系统影响反硝化的关键因素是 pH、温度、有机碳、硝酸盐水平、生态学相互作用、反硝化菌的暴露时间。

在 FWS 系统,硝化在水体处于好氧条件下发生,然后硝酸盐扩散进入沉积物(通常富有有机物)和土壤,在那里存在反硝化所需的厌氧条件。在 SFS 系统,可以发生硝化和反硝化,但是硝化所需的氧可能受到限制。

在自然和人工湿地,磷去除的主要机制为:

①在升高的 pH 条件下磷酸盐的沉淀析出。

②底泥的吸附作用。

③大型植物的吸收。

④藻类与微生物的固定。

与氮去除的反硝化不一样,并无一个磷的去除或滞留而导致的长期的磷下降。这个不足意味着在系统设计过程中要考虑到所有的磷去除机制。

矿质土的土壤和底泥沉淀可视为一个重要的磷的降低因素。在这些地方,溶解性的无机磷可通过黏土吸附和作为不可溶性的铝、钙与铁的络合物而沉淀析出加以去除。铝和铁的反应比之中性土壤更偏爱酸性土壤,而钙的反应则需要碱条件。植物在此后可以吸收这些磷,特别是那些土壤所吸收的磷。

5. 金属

湿地系统的金属去除机制主要是化学氧化或还原导致其析出,植物和土壤的吸附,以及最简单的过滤和沉淀。SFS 湿地系统中黏性土壤的存在使得由吸附而去除的几率增大。过滤则会去除 SFS 系统中的悬浮性金属。在 FWS 系统中,会

有沉淀作用,由中性向碱性条件的变化将有利于金属的沉淀析出。在两种系统中均有植物吸收作用。

5.8.3 流量(Flow)

提供内部水力控制的能力在自然的和人工的湿地系统中是非常不同的。为富有弹性地水管理所做的设计性能很可能会扰乱自然系统中的植物群落,并且为了达到相似的处理要求可能需要增大土地面积。人工湿地系统的设计可以保证特别的水文学和水力学条件,并且提供处理所需的特殊的参数。

1. 水力负荷

水力负荷与场地条件密切相关,例如气候条件,土壤特性(特别是渗透性)和所选的植物种类。BOD 负荷与蒸发速率也影响水力负荷。给一个大致的参考,水力负荷可能为 187～374 $m^3/(ha \cdot d)$。

2. 停留时间

为达到处理要求,废水需要在湿地系统里停留足够长的时间,以使得基本的生化以及可能的二级化学和物理(沉淀和吸附)作用能够发生和进行。其他一些因素,例如水的深度和植物的选择,也会影响停留时间的确定。

通常要很好地控制生化活动,以达处理目标和避免厌氧条件的产生。通常会选择 10～20 d 的停留时间,这个数字大约为兼性塘的一半左右。物理设计,通过内部流的深度和路线的控制,可以满足不同的停留时间需要。

3. 水深

在一个 FWS 系统里,水的深度取决于处理目的,也与叶子区域的发展、系统停留时间、植物类型和要处理的污染物有关。水深影响到植物的多样性,举例来说,较深的水和高的营养水平(特别是氮)很可能会导致单一的植物或很低的多样性。

深沼泽性植物群落适合水深为 0.75～1 m,而浅沼泽性植物群落则只需要 0.3～0.5 m 的水深。浮水植物种类,就是它们构成了多样性的主要部分,适合它们的最佳深度为 0.3 m 以下。

在 SFS 湿地处理系统,水的流动是在底面之下,床的深度是由植物根部系统的穿透深度决定的,是根部系统为 SFS 系统提供了氧。

4. 流量控制

须考虑进水流量的分配,其重要性是与前处理程度成反比。一个点排放的仅

经过格栅滤过的废水将很快就在 FWS 系统产生臭气和讨厌的污泥淤积,而在 SFS 系统则可能很快就造成堵塞。另一方面,经过高级处理的进水则更易于处理和排放。

在人工 FWS 系统,低洼地和多孔管可以用来散布进水。SFS 系统的进口区应该布有大颗粒的沙砾,这些沙砾被用于分布而不是过滤进水。典型的 SFS 系统的滤料特性见表 5.65。

表 5.65　典型的 SFS 人工湿地系统的滤料特性

滤料类型	最大 10% 的颗粒粒径/mm	孔隙率	水力传导率 k_s/[$m^3\cdot(m^2\cdot d)^{-1}$]	K_{20}
中等沙子	1	0.42	421	1.84
粗沙	2	0.39	480	1.35
多碎石的沙子	8	0.35	500	0.86

内部流量控制是湿地系统成功运行与保证处理质量的关键。堰、门和其他一些东西被用来控制水的深度,控制水流的速度,在不规则流动期间转移水流,也可采用相隔离的区进行储存保持。例如,水位可以变化调整以保持所选择的植物能够优化各隔离区的性能表现。

如果计划从 SFS 系统的一些平行的区排水,那么设计就需要考虑包括一个共同的出水收集问题。如果最后的排水是特殊的,比如排到一个相邻的自然湿地,那么就要考虑最后的区的出水分布和法规许可。

通常一个湖泊将会被考虑不仅用来接收湿地系统出水,而且可以进一步改善处理效果和提高项目的美学欣赏价值。

5.8.4　植物(Vegetation)

湿地植物提供了支撑藻类和微生物群落的结构,而藻类和微生物则是在生物群落环境中保证了废水处理的能力和可靠性,故湿地植物扮演了一个非常重要的角色。

1. 植物选择

可供湿地废水处理系统选用的植物种类有很多,但是最主要的两组分别是例如水葫芦和浮萍等浮水植物,香蒲和芦苇等大型根系植物。这两组植物的重要差别在于浮水植物需要定期的收获以保证其有效性。大型植物可以在人工湿地系统中形成深的或浅的芦苇或香蒲等沼泽群落,可以形成水草等浅的群落,也可以形成沼泽林。

基本的挺水植物选择程序是鉴定可以在设计水文周期生存的植物,而且这些

植物应该可以形成稠密的群落和叶子覆盖。另外,能够具有高的营养和矿物质吸附能力的植物是很受欢迎的。还要与水文学设计因子能够相兼容。表 5.66 包括了一些被认为可用于人工湿地系统具有不同水文周期的单元的挺水植物。

表 5.66 可用于人工湿地废水处理系统的挺水植物

普通名称	学名	普通名称	学名
慈菇	Sagittari spp.	水池草	Pota mogenton spp.
狸藻类植物	U tricularia spp.	另种芦苇	Phrag m ites asutrails
芦苇	Scirp us spp.	灯心草	Juncus spp.
香蒲	Typha spp.	锯草	Cladiu m ja m aicense
小芦苇	Panicu m spp.	莎草	Carex spp.
甜茅属草	Glyceria spp.	有穗灯心草	E leocharis spp.
眼子菜	Pontederia cordata		

调控运行水深能够形成一个可以影响植物多样性的限制条件。利用多单元和水位控制,设计者/ 运行者能够有选择地影响植物种类分布。较长时间地保持相对稳定的水位可能会导致多年生或一年生的种子的不发芽,并进而进一步限制多样性。水文周期、种子库成分等决定了植物种类组成。

因为竞争性种类的缘故,营养的可获得性可影响浮现型植物种类的多样性和分布,以及它们的生长速度和它们的生长的结构分配。并且营养的摄入也在湿地废水处理的性能表现中扮演了重要角色,特别是在植物形成期间。

芦苇和香蒲属于湿地处理系统中研究最多的植物种类。这两种植物均可生长在浅水和较深的水中,生长高度相近且稠密,可形成发达的叶子区域。它们是人工湿地处理系统的深沼泽区最主要的植物群落。

在较浅的运行水深条件下,草或草本的沼泽(也被称作混合或浅沼泽)群落可以发展起来,为附着的微生物提供不断增大的表面积。这些群落具有日益增长的植物种类多样性和减少及稳定营养物浓度的能力,并且能为野生动植物提供栖息环境。一些混合的沼泽植物种类适应于连续的浸没于水中的条件。混合型沼泽往往一定程度上受到可能的土地条件的限制。

草木丛生的沼泽需要很大的土地面积,因为水深较浅,并且需要季节性地降低水位。有一些树种,例如柏木属植物、橡树和多花紫树等,可以在较长的洪水期生存。草木丛生的沼泽中有些树可以耐受相对较长时间的营养缺少,并且有助于更多种类的野生动植物的生存。

2. 植物群落形成

需要有一段时间让植物群落生长形成以实现人工湿地处理系统的操作和功

能。这段时间大约在 6 到 12 个月。植物种植须加以监测,并且如果必要的话可加以替换。在此期间,除去由于自然条件而导致的植物减少外,动物的蹂躏践踏也是一个问题。经常会遇到的另一个难题是并非所希望的植物种类的侵入,这可以用例如控制水位的办法来解决。洪水对湿地植物有偏爱,常常是个特别的控制技术。在此期间,由于"不请自来的"植物的加入,植物多样性得到增强。

3. 植物的管理

一般的湿地系统分类,主要决定于植物、运行顺序以及维护成本等。最常见的有浮水植物型,如水葫芦;芦苇或香蒲等单一植物型;草或草本浅沼泽型。对于漂浮植物系统来说,定期收割是营养去除的关键程序,因为主要的营养就是富集在植物组织里。而对于芦苇等大型植物,收割就不像浮水植物那么至关重要了。

第九节　土地处理
(Land Treatment)

土地处理是生物和物理-化学处理的综合,提供了一种高度的废水净化方法。土地处理系统的设计是高度因地制宜的。处理出水可以排放到地面水体中去,也可以逐渐渗滤进入地下水。

三种最常见的土地处理系统分别是慢速渗滤、快速渗滤和地表漫流。尽管各自适用于不同的场地条件,但是在场地选择上仍然有一些共同的准则,见表 5.67。而对三种不同土地处理系统的场地特殊条件需要见表 5.68。一旦选定了一个场地,就要立刻开始进行现场测试(见表 5.69)。特别重要的需要考虑的土壤调查示于表 5.70 和 5.71。

表 5.67　土地处理场地选择指导方针

特性	处理类型	附注
土壤渗透性	地面漫流 快速渗滤与慢速渗滤	水力负荷随渗透性增加
潜在的地下水污染	快速渗滤与慢速渗滤	影响因素有:①与可饮用水层的接近程度;②隔水层的存在;③地下水的流向;④来自于井和暗沟的水对地下水的恢复程度
地下水储存和恢复	快速渗滤	储存滤过的水和由井及暗沟恢复水的能力主要决定于:含水层厚度、渗透性、隔水层的连续性、有效处理深度、在给定面积的重新进水的能力
现存土地的利用	所有处理类型	与相互有矛盾的土地利用有关联
将来的土地利用	所有处理类型	将来市区的发展可能会影响到系统扩张的能力
场地的大小	所有处理类型	如果周围有许多一片一片的土地,将来可能会比较难以购买所需土地

续表

特性	处理类型	附注
洪水的危险	所有处理类型	可能影响或限制场地的使用
坡度	所有处理类型	陡坡可能会增加土方工程的费用,在雨季可能会增加侵蚀的危险
	快速渗滤	陡坡通常会影响地下水的流动模式
	地面漫流	陡坡减少通过处理区域的时间,也降低处理效率,而平坦的土地又需要做很多土方工程去造成坡度
用水权	所有处理类型	可能需要在特定地面水范围有一个排放处理过的水的水域

表 5.68 土地处理系统的场地特性

	慢速渗滤	快速渗滤	地面漫流
坡度	在耕地上小于 20 %,在非耕地上小于 40 %	不很关键,过陡的坡度需要大量的土方工程	2 % ～8 % 的坡度*
土壤渗透性	比较慢到比较快	快(沙砾,沙质肥土)	慢速(带有不渗透阻挡层的黏土、泥沙和土壤)
到地下水的厚度	0.6～1 m(最小)	洪水期间 1 m;旱季 1.5～3 m	没有严格要求
气候条件要求	寒冷季节和降雨量大的季节需要储存	没有特殊要求(寒冷季节也许要对操作稍作调整)	寒冷季节往往需要储存

* 在降低的水力负荷情况下陡坡也许是可行的。

在高地下水位的场地可以用暗沟以保持这个水平。

高渗透性的土壤须考虑对地下水的影响。

表 5.69 土地处理系统的现场测试

参数	处理类型		
	慢速渗滤	快速渗滤	地面漫流
废水组分	氮、磷、SAR*、EC*、硼	BOD、SS、氮、磷	BOD、SS、氮、磷
土壤物理特性	剖面厚度、质地和结构	剖面厚度、质地和结构	剖面厚度、质地和结构
土壤水力学特性	渗漏速度表面下的渗透性	渗漏速度表面下的渗透性	渗漏速度
土壤化学特性	pH、CEC、可交换离子(CEC %)、EC*、金属、磷的吸附	pH、CEC、磷的吸附	pH、CEC、可交换离子(CEC %)

* 对干旱半干旱地区更为重要。

如果种植食物链作物的话,那么土壤中镉、铜和锌等金属的本底浓度需要搞清楚。

表 5.70　土地处理系统的土壤特性

参数	处理类型		
	慢速渗滤	快速渗滤	地面漫流
废水组分	氮、磷、SAR*、EC*、硼	BOD、SS、氮、磷	BOD、SS、氮、磷
土壤物理特性	剖面厚度、质地和结构	剖面厚度、质地和结构	剖面厚度、质地和结构
土壤水力学特性	渗漏速度表面下的渗透性	渗漏速度表面下的渗透性	渗漏速度
土壤化学特性	pH、CEC、可交换离子(CEC%)、EC*、金属、磷的吸附	pH、CEC、磷的吸附	pH、CEC、可交换离子(CEC%)

* 对干旱半干旱地区更为重要。

如果种植食物链作物的话,那么土壤中镉、铜和锌等金属的本底浓度需要搞清楚。

表 5.71　矿质土的质地

土壤分类	感观	
	干燥土壤	湿润土壤
沙土	疏松,单颗粒,感觉多沙。攥紧在手掌再松开土壤即跌落分开	攥紧在手掌像个“铸件”,但触摸它会粉碎。不能捏成一个带状物
沙质壤土	团块易被压碎;触摸时有天鹅绒般的感觉,但持续触摸则很快即感觉多沙	形成一个“铸件”,可以承受小心侍弄而不碎。不能捏成一个带状物
壤土	轻微压力可使团块破碎。土块可能很牢固。呈粉状时有天鹅绒感觉,但持续触摸即转为多沙感觉。“铸件”可以承受小心侍弄	“铸件”可以承受随意动而不碎。经受手捏可有轻微成带状物的趋势。触摸表面有粗糙感
粉沙壤土	团块较为坚实,但加压力后可能破碎。土块硬实。当土壤粉碎时感到面粉般平滑	“铸件”可以承受随意动而不碎。经受手捏可有轻微成带状物的趋势。触摸表面有断裂或波纹感
黏壤土	团块非常坚实,即使用力捏也不破碎。当土壤粉碎时由于一些小的团块因而多少会有多沙的感觉	“铸件”可以承受随意用劲捏而不碎。经受手捏可成带状物。当潮湿或触摸时表面有轻微沙感。土壤有可塑性、黏性
黏土	团块非常坚实。土块即使用力捏也不破碎。当土壤粉碎时由于有许多非常细小的团块因而会有沙质感	“铸件”可以承受随意动而不碎。经受手捏可成富有弹性的带状物,拉伸时仍保持弹性。触摸表面感到非常光滑,犹如缎子。受潮时显黏性如胶泥

在应用土地处理系统之前,可能需要进行一些废水预处理,美国环保署(EPA)推荐的一些预处理见表 5.72。

表 5.72 土地系统应用前的预处理

土地处理类型	情况	推荐预处理
慢速渗滤	隔绝的地块或一些限制区,非人类消费的作物	初级处理
	有控制的农业灌溉,非人类生吃的作物	生物处理(塘或在厂里实施),控制排泄物大肠菌 < 1000 MPN/100 mL
	公共使用区域,例如湖泊和高尔夫球场等	生物处理(塘或在厂里实施),消毒到排泄物大肠菌≤200 MPN/100 mL
快速渗滤	隔绝的地块或一些限制区	初级处理
	城市地区,有控制的公共使用	生物处理(塘或在厂里实施)
地表漫流	隔绝的地段,非公众进入区	格栅筛除或粉碎
	城市地区,非公众进入区	在储存或应用期进行筛除或粉碎加曝气以控制气味

除去这些处理之外,系统还须包括储存设施,某些情况下在布水和应用土地处理之前还须有格栅等设备。储存设施的设计考虑包括水平衡所需的容积,运行和气候因素,以及紧急储存等。表 5.73 所示为土地应用设计的一些主要特性,更多的针对每一具体的基本土地处理系统的讨论见后面。

表 5.73 土地处理系统的典型设计数据

设计类别	慢速渗滤	快速渗滤	地表漫流
应用技术	喷洒或地表灌水*	通常为地表灌水	喷洒或地表灌水*
年水力负荷/m	0.5～6	6～125	3～20
要求土地面积/ha	23～280	3～23	6.5～44
典型周水力负荷/cm	1.3～10	10～240	6～40
在美国必须做的最低限度的预处理	沉淀	沉淀	去除粗沙和粉碎
废水的去向	蒸发蒸腾和浸渗	主要为浸渗	地表径流、蒸发蒸腾和部分浸渗
植物	必要	非限定	必要

* 包括沟灌、畦灌、淹灌等。

不包括缓冲区道路和沟渠等。

包括生污水直到二级出水,高负荷对应高的预处理水平。

有限制的公众使用,不直接被人类消费的作物。

5.9.1 慢速渗滤系统(Slow-rate Systems)

慢速渗滤系统是土地处理的最常见的形式。该系统可以提供最高级的处理,

图 5.55　慢速渗滤处理系统示意图

并且通常很少产生不良的环境影响。一个慢速渗滤系统的示意图见图 5.55。

慢速渗滤处理的出水有两个去处:通过土壤渗透到地下水,或者通过蒸发到大气中去。系统的设计防止地表径流。在某些地质学或水文学条件下暗沟是必要的。

土壤的最上层完成了绝大部分的污染去除。土壤中的微生物使有机物分解,硝化和反硝化得以进行。土壤基质去除了固体和致病微生物。金属主要经由黏土物质的吸附而得到高度去除。植物在生长期间利用氮和磷作为营养。

在应用慢速渗滤系统之前往往要进行一些常规预处理和生化处理。粗沙和其他粗固体(例如破布残片等)可能会毁坏后续的设备等。太多的有机物会降低上层土壤的通透性。

可溶性的盐有可能对于慢速渗滤系统来说是个问题。例如,高浓度的钠对于含黏土的土壤就可能造成土壤结构疏散,土壤的通透性也会降低。钠的吸附系数(SAR)定义为

$$SAR = \frac{N_a}{C_a + M_g / 2^{0.5}} \tag{5.22}$$

式中,所有浓度单位是 mg/L。如果 SAR 大于 9,那么细颗粒的土壤的通透性就会

降低。

氮的去除通常在慢速渗滤系统的设计中摆在决定性位置,因为地下水对硝酸盐-氮有一个 10 mg/L 的限制。这个限制主要是为了防止由于摄入过多硝酸盐而引起的婴儿高铁血红蛋白症。氮进入土壤最好要以有机氮或氨氮的形式,因为硝酸盐离子是高度流动性的,极易渗透土壤基质。

作物对氮的摄入在生命周期的不同阶段是不一样的,而且还因种而异。废水中的磷则通常都超过作物的需要,但是土壤有这个能力储藏非常大量的磷。表 5.74 提供了部分作物对氮、磷和钾的摄入系数。

表 5.74 部分作物的营养摄入数据[kg/(hm^2·a)]

	氮	磷	钾
草料作物			
紫花苜蓿*	225～540	22～35	175～225
雀麦草	130～225	40～55	245
海岸百慕大草	400～675	35～45	225
肯塔基蓝草	200～270	45	200
匍匐冰草	235～280	30～45	275
芦苇草	335～450	40～45	315
黑麦草	200～280	60～85	270～325
草麦樨*	175	20	100
高牛毛草	150～325	30	300
果园草	250～350	20～50	225～315
大田作物			
大麦	125	15	20
玉米	175～200	20～30	110
棉花	75～110	15	40
高粱	135	15	70
土豆	230	20	245～325
大豆*	250	10～20	30～55
小麦	160	15	20～45

* 豆类还要从大气中摄取氮。

种植多年生的植物并在其生长的早期阶段频繁收割,一般都可以做到把最大部分的营养物质去除。至于一年生的植物在营养去除方面的作用就差多了,因为它们只在可能的生长季节的部分时间里成长。

树木也可以从废水中去除大量的营养物质。营养的摄入与树的种类、树木的

密度、树龄、季节的长度以及温度等都有关。部分被摄入的营养转变为林地的落叶和死亡的树木。美国一些树木生态系统(包括林下植物)活跃成长阶段的年氮储存的估算示于表 5.75。树木真实的氮去除量取决于采用什么方式去收获。树木所摄入的磷的量通常是很低的。但是 pH 较低的树林土壤比较能多保持磷。

表 5.75　树林氮净摄入量的估算*

	树龄/ a	年平均氮摄入量/ [kg·(hm^2·a)$^{-1}$]
东方树木		
混合阔叶树	40～60	220
红松	25	110
冷地区白云杉	15	280
演替式林木	5～15	280
南方树木		
混合阔叶树	40～60	340
不含林下植物的南方松	20	220
含林下植物的南方松	20	320
大湖州区树木		
混合阔叶树	50	110
杂种白杨	5	155
西方树木		
杂种白杨	4～5	300～400
道格拉斯冷杉	15～25	150～250

* 美国的各地区。

包含进该估计的南方松是火炬松。

短期轮替型,4～5 年时收割;这里反映的是第一生长周期。

另外一个非常重要的慢速渗滤系统设计所要考虑的因素是水力负荷,该因素应该根据水量平衡来决定,以使得应用地点排出的废水径流最小化。水量平衡公式是

$$P + W = E + S \tag{5.23}$$

式中: P 是降雨量; W 是废水量; E 是蒸发量; S 是浸渗量。降雨量和蒸发量的数据可以从有关机构获得。浸渗量则因地而异,必须在现场确认。水量平衡中最终真实采用的浸渗数值不应该超过最严格限定土壤层的渗透量的 4%～10%。

浸渗量中的氮平均含量可以经由水量平衡和氮含量平衡估算而得。系统的设计必须要充分考虑地下水中硝酸盐的水平和水力应用系数。

喷洒装置被用来布废水,这样可以保证有一个均匀的分布,而且速度可调,对

地形的适应性也比较强。有关喷洒装置的一些情况见表 5. 76。通常还需有大约 3 天的时间用以在土壤上层重建一个曝气区,为实现应用区的轮换可以建立分离的喷洒装置。

表 5. 76 喷洒装置特性描述

	典型供水速度 /(cm·h^{-1})	每次所需劳力 /[h·(hm^2)$^{-1}$]	喷嘴压力范围 /[N·cm^{-2}]	单个系统大小/ hm^2	形状	最大坡度 / %	最大作物高度/ m
“固定”装置							
永久的	0. 13～5. 18	0. 02～0. 04	21～69	不限定	任何形状	—	—
可移动的	0. 13～5. 18	0. 08～0. 10	21～41	不限定	任何形状	—	—
间歇移动							
手动式	0. 03～5. 08	0. 2～0. 6	21～41	1～16	任何形状	20	—
尾曳式	0. 03～5. 08	0. 08～0. 16	21～41	8～16	直角	5～10	—
侧轮式	0. 25～5. 08	0. 04～0. 12	21～41	8～32	直角	5～10	1～1. 2
固定枪	0. 64～5. 08	0. 08～0. 16	35～69	8～16	任何形状	20	—
连续移动							
移动枪	0. 64～2. 54	0. 04～0. 12	35～69	16～41	任何形状	—	—
中枢轴	0. 51～2. 54	0. 02～0. 06	10～41	16～65	圆形	5～15	2. 4～3
线性移动	0. 51～2. 54	0. 02～0. 06	10～41	16～130	直角	5～15	2. 4～3

5. 9. 2 快速渗滤系统(Rapid Infiltration)

快速渗滤作为废水处理的方法已越来越普及。该系统为高水力负荷而设计,并且在可能形成高渗透的地形条件下非常有吸引力。几乎所有的投配废水都经由土壤浸渗(见图 5. 56)。蒸发量很小,因为基本上不采用植物。可以将浸渗废水用井或者暗渠排掉,不然的话它们将进入并补给地下水。废水的处理主要是因为土壤和废水含分之间的物理和化学作用以及土壤微生物的作用。

常常要进行预处理以减少土壤的堵塞和气味。也常常还要进行二级生物处理,但有些情况下只须进行初级处理,甚至连初级处理也不要。

去除氮的基本方法是反硝化,因为没有植物来吸收氮。可以通过调控加载和停载的时间来实现对反硝化一定程度的控制。为实现反硝化,还要供应充足的碳源。每 1 mg/ L 的氮转化为氮气约需 2 mg/ L 的碳。

水力负荷必须基于土壤剖面最严格限定层的渗透性。对于快速渗滤系统,系统运行应该是间歇式的,以保证一定的时间使土壤得以变干,从而恢复渗滤潜力并使得好氧菌可以降解废水中的污染物质。典型加载周期示于表 5. 77。

图 5.56　快速渗滤处理系统示意图

表 5.77　典型快速渗滤系统加载周期

加载周期目标	投加的废水	季节	投加时间/ d	干燥时间/ d
渗滤负荷最大化	初级	夏季	1～2	5～7
		冬季	1～2	7～12
	二级	夏季	1～3	4～5
		冬季	1～3	5～10
氮去除最大化	初级	夏季	1～2	10～14
		冬季	1～2	12～16
	二级	夏季	7～9	10～15
		冬季	9～12	12～16
硝化作用最大化	初级	夏季	1～2	5～7
		冬季	1～2	7～12
	二级	夏季	1～3	4～5
		冬季	1～3	5～10

快速渗滤系统的废水投加方法主要是灌水,尽管喷洒有时也会被采用。采用灌水方法的快速渗滤系统的表面既可以是长有植物的,也可以是没有植物的。因为快速渗滤系统要排出大量的水到限定的范围内,所以地下水的防护可能会有问题,这个问题一般可以用安装恢复井或地下暗沟系统来加以解决。

5.9.3 地表漫流系统(Overland Flow)

地表漫流系统是一种将废水投加于带有植被的斜坡的上部然后经由表面流到收集沟渠的废水处理工艺(见图 5.57)。污染物是在废水流动过程中被生物、化学和物理的作用所去除的。由于废水是顺坡流动,因而要采用相对不易渗透的土壤。土壤的坡度以 2%～8% 为宜,在这个坡度范围未见明显的处理质量上的差异。

图 5.57 地表漫流处理系统示意图

地表漫流系统的氮去除机制尚不很清楚,但主要的作用可能是植物的吸收、生物硝化和反硝化。普遍接受的看法是:总氮去除反比于废水投加的负荷,连续的废水投加降低了硝化率,并且氮去除和硝化都对温度敏感。

地表漫流系统在磷去除方面不像慢速渗滤或快速渗滤系统那样有效,这是因为废水没有足够的机会与土壤成分接触以固定磷。

废水投加可以是表面灌水、低压喷射或高压喷洒。表面灌水的方法包括:闸门、开槽、喷嘴或多孔管。这些方法耗能少,但是需要小心操作。如果没有进行很

好的预处理的话,喷嘴可能会被碎片堵塞。

因为相对不太渗透的土壤被采用,所以地下水的污染一般地不会成为问题,然而需要特别注意处理过的出水和雨水径流的收集,USEPA 推荐采用 25 年一遇的雨水径流沟渠,而地方上要求可能更高。

地表漫流系统运行操作的一个主要的考虑是覆盖作物的管理。在美国一些合适的草列于表 5.78。草一般每年收割 2 到 3 次。这样可以把营养移走,还可以早一点发现沟渠的问题。卖收割的草也可以有一些经济收入。收割前最好要使场地干燥,免得农业机械收割时留下可能成为流水沟的车辙等。

表 5.78　适合于地表漫流系统的草

普通名称	多年生或一年生	根系特性	种植方式*	生长高度/cm
冷季草类				
淡黄芦苇	多年生	草皮式	草种	120～210
高牛毛草	多年生	成束的	草种	90～120
黑麦草	一年生	草皮式	草种	60～90
小糠草	多年生	草皮式	草种	60～90
肯塔基蓝草	多年生	草皮式	草种	30～75
果园草	多年生	成束的	草种	15～60
暖季草类				
普通百慕大	多年生	草皮式	草种	30～45
海岸百慕大	多年生	草皮式	用生殖根繁殖	30～60
毛花雀稗	多年生	成束的	草种	60～120
巴西亚草	多年生	草皮式	草种	60～120

* 各种草的最佳种植时间随着地理位置的不同而各不一样。

用做采种。

包括其他经过改良的百慕大种类。

第十节　物理和化学处理
(Physical and Chemical Treatment)

物理、化学处理效果或混合效果是废水处理和控制的重要方面,为防止污染物浓度冲击和水量冲击,需要均衡调节和控制泄露溢出。中和和温度控制过程能很好地为后续废水处理作好准备。油脂和重金属的处理可作为对特殊污染的控制,并且可以作为在排放到处理厂之前的预处理或者作为在排入河流前的独立处理。最后,利用后曝气和灭菌过程作为最终排入河流前的处理。

5.10.1 均衡调节(Equalization)

均衡调节可以用来减少废水流速和组成变化的影响。这些变化主要是因为从市政、工厂而来的水流以及雨水的渗入和流入。当废水流量和毒性强度相对稳定时,处理工艺能发挥最大效率,而且能缩小一些处理设备的规模,如生化池、输氧系统和净化系统,因此也就减少了资金费用。

均衡调节在工业上用得比在市政设施上更普遍一些,这是因为许多工业采用批次生产过程。然而,现在也有大量的市政设施方面采用均衡调节设备。生活废水处理厂常有比平均流量高许多的峰值排放,因此均衡显得尤其重要。均衡系统的一些设计考虑见表 5.79。

表 5.79 均衡系统设计考虑

条件	考虑
可能的位置	在收集系统离线
	在进水设施后
	在初步澄清后
	在高级处理前
水流体系	在线
	离线
定型技术	
水力的	质量框图
水力和有机的	统计技术
	交互过程
混合方式*	表面曝气
	扩散曝气
	涡轮混合
	进水布水和导流

* 并非总是提供混合设备。

和那些水量和有机负荷仅有轻微变化的废水相比,那些含有较大毒性或抑制性化合物的废水显然更需要在生化处理前进行均衡调节。在实践中,通过中试或者工程应用数据来对均衡系统进行评价,确定在设定情况下,系统对特殊过程的变动的耐受性。

均衡设备可分为在线和离线两种类型(图 5. 58 和图 5. 59)。所有水流都通过在线池,排放速度恒定。离线池只在流量和浓度超过平均值时才接受废水流,只有在进水流量或浓度低于平均值时,才进行排放。

图 5. 58　在线均衡调节池流程图

图 5. 59　离线均衡池调节流程图

有许多方法可以利用去评估变化的废水流量与污染物浓度的均衡性,以及去计算在线和离线均衡池/ 储存容积。这些方法包括简单流量平衡、简单组分平衡,也包括复合流和复合组分平衡,还有正弦波方法、矩形波方法以及其他方法等等。

1. 流量平衡

流量平衡设计中最普遍的技术是质量图表法,该法画出流量与时间的坐标,这种图表称为 Rippl 图表,常用于水储存池的设计,图 5. 60 是 Rippl 图表用于水量平衡的例子。根据 Rippl 图表来确定所需的平衡容积,先作处理流量的平行线和废水流量图的切线,在切点处二平行线间的差值,就是所需的平衡容积。

简单流量平衡方法可以利用计算公式(5. 24)。

$$Q_i\Delta t = \Delta V + Q_0\Delta t \tag{5.24}$$

式中: Q_i 为 Δt 时间内平均流入流量;Δt 为时间间隔;ΔV 为 Δt 时间内储存在平衡池内水量的变化; Q_0 为 Δt 时间内平均流出流量。

一个 24h 水位图例示于图 5. 61,所取时间段为 2h。在本例中,流入和流出体积(V_I和 V_0)是利用流入、流出水流量(Q_i和 Q_0)与时间间隔(Δt)来计算得到。

图 5.60 流量平衡 Rippl 图

图 5.61 24 小时水位图

2. 组分平衡

另一方面,如果流量是恒定的,并且有一个恒定的池容积,在线均衡池已完全混合,简单组分或浓度平衡可用公式(5.25)计算

$$\Delta c = \frac{Q}{V}\Delta t\ c_i - c \tag{5.25}$$

式中:Δc 为 Δt 内浓度变化; Q 为恒定流量; V 为恒定池容积;Δt 为时间间隔; c_i 为 Δt 内平均进水浓度; c 为池内初始浓度。

如果平衡池内发生分解,平衡量计算就要修正,例如,发生的是一级分解,公式就变为

$$\Delta c = \frac{Q}{V}\Delta t\ c_i - c - Kc\Delta t \tag{5.26}$$

式中, K 为分解系数。

如果池内没有完全混合,简单组分平衡公式为

$$\Delta c = \frac{(Q/V)\Delta t(c_i - c) - Kc\Delta t}{1 + (\Delta t/2)(Q/V + K)} \tag{5.27}$$

3. 流量和组分平衡

随着考虑水流和组分实际变化越多,平衡公式变得越复杂,例如,一个完全混合在线平衡池内,流量和浓度变化基本关系分别为

$$Q_i\Delta t = \Delta V + Q_0\Delta t \tag{5.24}$$

和

$$\Delta c = \frac{Q_ic_i\Delta t - c(Q_0\Delta t + \Delta V)}{V + \Delta V} \tag{5.28}$$

如果 Δc 比 c 小了许多,并且 Δt 很长,设时间段 Δt 中 $c + \Delta c/2$ 是平均浓度,则迭代公式成为

$$\Delta c = \frac{Q_ic_i\Delta t - c(Q_0\Delta t + \Delta V)}{V - \Delta V + (Q_0\Delta t/2)} \tag{5.29}$$

最初的 c 和 V 将影响到计算。如果其他系统变量是周期性的,c 和 V 最终会同样变成周期性的,并且最初假定的状态也将变得不重要。当然这需要经过几个循环后才能发生。

通过增加均衡池体积,可以得到更完全的负荷与浓度消减效果。以上所讨论的计算式可以代进不同的均衡池容积值而反复使用。当计算完成后,设计人员将可获得指示基于进入池内生废水的不同而导致不同大小的均衡池的出水消减效应(例如降低有机物浓度)的数据。关键问题是选择多大的均衡池,这取决于什么样

的变化对于后续处理是最经济的。

4. 正弦波法

采用正弦波法的前提是假定流量和浓度在一天时间内是按正弦曲线变化的,故这种方法仅限用于市政废水系统的典型水流变化。但是由于这种方法不是迭代的,所以它对于一昼夜间流量变化作初始估计是很有用的。流量公式形式为

$$Q_i(t) = Q_A - (Q_P - Q_A)\sin 2\pi t \tag{5.30}$$

式中: $Q_i(t)$ 为作为时间的函数的进水流量; Q_A 为平均流量; Q_P 为峰值进水流量; t 为时间,天。

如果流量是恒定的,公式可以在一段时间间隔上积分,例如 $t = 0.5 \sim 1.0$d,从而计算出均衡容积中工作容积为

$$V = \frac{Q_P - Q_A}{\pi} \tag{5.31}$$

5. 矩形波法

矩形波法假定水流量是以矩形波形式变化,而不是以正弦曲线变化,并且峰值与均值之比和均值与最低值之比是相等的。这方法同样适用于浓度和质量负荷。对于一个恒定流出,所需储存体积

$$V = \frac{Q_A(x-1)^2}{x^2-1} \tag{5.32}$$

式中, x 为流量峰与均值之比。

6. 混合

悬浮充氧机是一种混合和充氧的常用方法。对于中等浓度的市政废水所需充氧或混合能量约为 3～8 kW/10^3 m^3。当其中含有特殊的密度远大于 1 的固体时,为了保证其悬浮状态,就需要更大的能量。

许多未混合池保持污水不超过一天,往往运行状况也比较理想。这些池必须加衬里,并且必须有淋洗水。

5.10.2 溢洒与泄漏控制(Spill Control)

处理有毒物质或浓缩废水的防止溢洒泄漏设施对于预处理设计来说是一个很重要的部分。在美国,与许多州和地方政府一样, USEPA 要求某些工业必须有溢洒泄漏控制计划。随着时间的推移,许多技术在发展和更新,例如围绕着储存罐筑堤,关键阀门等措施以防止罐子倾倒和冲溃。

几乎所有制造过程都存在产品损失或生产问题。通常这些废弃物被排放到处

理系统中。这些物质的毒性可能是平常进入处理系统的几倍,因此,一个危机储存池或离线储存池就有必要了。

这些池子的设计与所关注的特殊化学物有关,因此并无唾手可得的精确的数学方法可用。一些重要的敏感参数是 pH、TOC、流量或电导率等。操作过程可以是自动(见图 5.62),也可以是手动的。把池内物质送回处理设施以使得流入特殊化学物浓度降低到目标浓度以下。

图 5.62　离线溢洒泄漏储存池框图

在使用大量有毒污染物的工厂中,必须要有离线储存池。这将决定工厂是否需要自己的处理工厂还是送到市政处理厂。

在美国,油或燃料类泄漏控制的最基本法规是 40 CFR 112,这包括联邦政府溢洒泄漏防范要求与计划(SPCC)。这些 EPA 法规还对这些物资的储存作了要求和规定,例如,地表储存装置安装应该包括一个最大单罐和足够的附加空间。类似地,燃料转运处所应该为大型运输车辆提供足够空间。表 5.80 所示为 SPCC 计划内容。

表 5.80　典型 SPCC 计划表

说明
第一章——介绍
第二章——设施描述
接纳区域
地上储存
地下储存
第三章——溢洒泄漏的防止
地上操作
地下操作

续表

说明
第四章——溢洒泄漏的控制和防范措施
溢洒泄漏的反应
溢洒泄漏的清理
溢洒泄漏后报告
第五章——执行计划
设施的改进
观察和记录
人员训练
安全措施
附录 A——40 CFR 112 污染防止规范
附录 B——以前的溢洒泄漏记录
附录 C——州及联邦法规
附录 D——观察记录表
附录 E——人员训练资料

5.10.3 中和(Neutralization)

废水化学处理中一项最常见的要求是对其中过量酸或碱进行中和,衡量酸、碱性指标是 pH。pH 小于 7 是酸,pH 大于 7 是碱,图 5.63 列举了酸碱类型。pH 在 6～10 以外的废水能腐蚀装置并且可能导致废水处理系统发生问题,排放到环境中的废水必须把 pH 控制在 6～9 之间。

废水中和处理最关键的一条是确定产生酸、碱的离子性质。酸碱滴定曲线可以表明调整酸性废水 pH 所需的碱性物量(图 5.64),或反过来所需的酸性物量(图 5.65)。所需中和化学物质的量和滴定曲线形状都是非常重要的。有些废水尽管加入了中和化学物质但 pH 变化却很少(高缓冲性);有时加入一点儿化学物质,pH 却变化很大。如果要求对 pH 控制很严,比如正负 1 个 pH 单位,而加入少量的酸或碱试剂就可以使 pH 发生显著变化,那么此时系统设计就是很重要的,在这些情况下,需要较长的保留时间和多步中和系统。

中和反应一般可以通过一、二或三个步骤来完成,可以采用反馈、前馈,或反馈-前馈。三种化学反馈系统的实例参见图 5.66 至图 5.68。控制方式的选择取决于污染物的性质,反应器的水力停留时间、混合程度、反应间歇及其他因素。

第一级反应器基本上是完全混合的,接下来的反应器是否混合取决于系统的要求。未混合的中和反应器可以用于 pH 短期波动但要求在保留时间内进行消减

图 5. 63　酸和碱的类型

图 5. 64　酸性废水滴定曲线

图 5.65 碱性废水滴定曲线

图 5.66 pH 控制的反馈模式

时的稀释。每一步 pH 控制的典型滞留时间为 2～10 min,如果用石灰石或另外一些反应较慢的化合物进行中和,滞留时间会延长一些。当然还应在实验室中依据试验结果确定反应时间。

为达到充分混合,输入输出装置应安装在反应器相对的两侧,较理想的是一个

图 5.67　pH 控制的前馈模式

图 5.68　pH 控制的反馈-前馈模式

位于容器顶部,一个位于容器底部。如果使用圆形反应器,必须使用装有折流板的器壁。化学试剂应该在输入口直接加入系统或直接加入到混合涡流中。此后在操作时应格外小心,以防化学试剂腐蚀叶轮或叶轮轴。反馈控制的 pH 探针应位于反应器外壁的输出口。这是工艺控制的最有代表性的例子。

常见的中和试剂如苛性碱、石灰、碳酸钙或碳酸钠,以及石灰石等用于中和酸性废水;硫酸、盐酸和硝酸用于中和碱性废水。中和试剂的选择取决于数量、成本、可获得性以及副产物,比如废渣之类。常见中和试剂的特性列于表 5.81 中。

pH 控制系统的运行状况主要取决于主要元件(pH 探针)和其他仪器的维护情况。如果仪器状态良好,系统设计合理,一般说来就可以达到预定 pH。进行系统设计时,要选择适当的中和试剂,选择充足的反应物保留时间,反应步骤和控制模式(何种反馈或反馈组合),并且还要对系统进行合理的水力设计使短流最小化,确保 pH 探针正确的位置以达到精确的测定。图 5.69 所示的是一个典型的两步 pH 控制系统流程图。

表 5.81 中和反应试剂的性质

化学反应试剂	分子式	中和反应量/(mg·L^{-1})*	中和反应因子
		碱度	
碳酸钙	$CaCO_3$	1.0	1.0/0.56 = 1.786
氧化钙	CaO	0.560	0.56/0.56 = 1.000
氢氧化钙	$Ca(OH)_2$	0.740	0.74/0.56 = 1.321
氧化镁	MgO	0.403	0.403/0.56 = 0.720
氢氧化镁	$Mg(OH)_2$	0.583	0.583/0.56 = 1.041
石灰岩	$[(CaO)_{0.6}(MgO)_{0.4}]$	0.497	0.497/0.56 = 0.888
水合石灰岩	$\{[Ca(OH)_2]_{0.6}[Mg(OH)_2]_{0.4}\}$	0.677	0.677/0.56 = 1.209
氢氧化钠	NaOH	0.799	0.799/0.56 = 1.427
碳酸钠	Na_2CO_3	1.059	1.059/0.56 = 1.891
		酸度	
硫酸	H_2SO_4	0.98	0.98/0.56 = 1.750
盐酸	HCl	0.72	0.72/0.56 = 1.285
硝酸	HNO_3	0.63	0.63/0.56 = 1.125

* 中和 1 mg/L 酸或碱所需反应剂的量用碳酸钙表示。
假设所有化合物都是 100% 的纯度。

图 5.69 两步连续中和系统

5.10.4 温度控制(Temperature Control)

温度的影响主要与发电厂或大型工厂的一些设备排出的热污染物有关。实际

上,高温废水对处理过程有许多负面影响,例如,温度升高,降低了氧传输能力,又促成池内水体分层。而另一方面,温度的轻微升高,有利于厌氧消化过程。排污系统中高温可加速硫化氢的生成,而且可能会软化沥青黏合剂。

通常,绝大多数排污方法禁止废蒸汽的直接排放,最高允许排放温度为 65℃,点源的温度限制更多地考虑到所处位置的特殊性,并且按照周围水温的允许变化范围来制定排放标准。

废水的处理和/ 或冷却可采取多种形式,对高温废水,热交换提供了一种降温途径,管式热交换器和壳式热交换器因为易于清洁,所以常用来加热或冷却,而板式热交换器由于其高效性也常被应用。

如果热量只是被消耗,单用冷却池或冷却塔就可以冷却液体,用冷凝管可以冷却气体。对于小体积和低热负荷,冷却池和喷射池通常很有效。机械或天然的通风塔用来冷却大流量高热负荷的污染物。生物活动过程需要温度略微高一些,但是尽管温度的略微升高对市政处理系统通常不会构成什么问题,却会影响水力停留时间较长的工业处理系统。在这种情况下,比较典型的保护措施就是增添带防护盖的深水池。

5.10.5　油类和油脂的去除(Oil and Grease Removal)

由于油类和油脂会腐蚀仪器设备,干扰其他过程(尤其是重力沉降过程),并且会在处理系统中不适当的地方累积,造成一些危害和困难,所以必须将它们从废水中除去。而且油类和油脂一旦进入受纳水体,便会造成严重的污染问题,破坏环境。

含油废水主要由下列途径产生:石油生产,炼油和储油;石化产品;轧钢厂;金属制造业;食品加工业;印染废水;冷却和加热系统等。居住区和食品制作也会造成轻微的油脂污染负荷。最终排出的废液,在体积和含油量上变动范围均很大,例如含油量可以是 100～100 000 mg/ L。废水中的油类和油脂可以使用几个广为人知并且得到广泛认可的技术来去除。然而,任何分离操作技术都要完全视油-水混合情况而定。因此,在选择适当的处理技术时,要首先确定含油废液的组成成分。

影响油-水分离器设计方案的主要因素有:废水中油含量;油滴的大小分布;是否含有表面活性剂或乳化剂;油的密度;废水的密度;废水的温度;悬浮颗粒的浓度。

表 5.82 总结了几种油分离方法的优缺点,其中重力分离和空气浮选应用最为广泛。

表 5.82 油脂去除方法的比较

处理方法	描述	优点	缺点
重力分离法	API,CPI,TPS,PPI	可去除悬浮物;有效去除游离和分散的油;处理简单、经济	去除乳化油的效率有限;无法去除可溶态油;只能去除粒径大于20μm 的油粒
气浮分离法	DAF,IAF	可去除悬浮物;加添加剂后可有效去除分散和乳化的油;有效耐受冲击负荷	使用絮凝剂时需处理化学污泥
化学絮凝法	与重力分离法和气浮分离法连用	可去除高悬浮固体	产生化学污泥
过滤法	沙石,无烟煤,碎石墨,多介质	有效去除悬浮物;可有效分离游离的、分散的和乳化的油	需要反洗,从而带来后续处理问题
聚结法	纤维质媒介	可有效去除可溶态油外的所有油组分	过多的悬浮物会造成淤塞;可能造成生物淤塞;需要前处理;尚未表明可大规模应用于实践
膜法	反渗析,超滤,微滤	试验室条件下表明可去除可溶态油	流量低;膜堵塞;膜寿命有限;尚未表明可大规模应用于实践;需前处理
生化法	活性污泥,RBS	有效去除可溶态油	需预处理将进水中油降低到低于 40 mg/L
活性炭吸收	GAC 是良好的过滤和吸附媒介;PAC 只用于去除可溶性油	可有效去除包括可溶态油的所有油组分	需预处理;费用高;活性炭需再生或替换;尚未表明可大规模应用于实践

公共或私人厨房和食品加工地排出的废油和废脂类可分为两种污染来源。其一是被分别收集作为副产品原料或准备离位处置排放的深度油炸食品和来自其他排污管道的浓缩废液。稀释的废液来源于洗涤废水和溢洒及泄漏,在正常情况下,它们首先被重力排入到隔油器中而不是排入公共下水道中。下水道使用条例特别强调了需要隔油器和一系列必要的预处理。

1. 游离态油

废水中基本不与水结合的油和脂类油滴被称作游离态油,游离态油由于密度小于水而浮在水面上。

分散油滴受到的三种主要的作用力分别是浮力、阻力和重力。油滴所受浮力

与它的体积成正比,所受阻力与它的投影面积成正比,随着油滴直径的减小,其体积与表面积之比也在减小,由于这一大小关系,较大的油滴有上升的趋势而较小的油滴保持悬浮状态,这一关系的描述定义就是著名的斯托克司(Stokes)定律。定律中假设上升油滴的最终速度,与油水之间的密度差异成正比,与油滴直径平方成正比,与水的黏度系数成反比。

(1)重力分离法

有大量简单的重力分离装置可供选择,从 API(美国石油研究所)分离器到平行板分离器等,分别参见图 5.70 和图 5.71。油一浮到水面上,立即从废水中被除去,狭槽管、套管、浸管、平行板或带状、滚筒状、绳状撇沫器可用来除去漂浮油滴。

图 5.70　重力油水分离器

API 在大量实验和工厂生产数据的基础上,发展了重力法油-水分离器的操作程序,API 建议根据斯托克司(Stokes)定律来推算油滴的上升速度,其中规定油滴直径为 0.015 cm。当无法进行实际测定时,可参照图 5.72 和图 5.73 中 API 公布的数据,来估算密度和绝对黏度系数。数据适用的温度范围是 4～10 ℃。表 5.83 中列出的是重力分离的设计参数。流量因子见图 5.74。

图 5.71　平行板油水分离器

图 5.72　洁净水的密度

图 5.73　洁净水的绝对黏度

(2)空气浮选法

第二种常见的油类和脂类去除方法是加气浮选法(IAF)或溶解空气浮选法(DAF),这两种方法分别如图 5.75、5.76 所示(浮选过程在悬浮颗粒物一节中有所论述),如果简单的重力分离法不彻底时,就可以选择空气浮选法。

利用大气压或加压溶解引入空气形成空气泡,气泡与油滴结合后快速浮上水面。这样就比单独使用重力法去除得更快,从而可以减小处理单元。因为空气泡可以与覆盖着油滴的不能用简单的重力系统去除的悬浮颗粒相结合,所以有些时候可能达到更好的处理效果。最后一点就是在浮选剂中往往需加入化学絮凝剂,如明矾、$FeCl_3$,以及阴阳离子高分子聚合电解质等来提高油类和脂类的去除效率。

表 5.83 重力油水分离器的设计

1. 上升速度 $$V_r = \frac{g(\rho_w - \rho_o) d_p^2}{18\mu}$$

式中：V_r 为油滴上升速度；g 为重力加速度；ρ_w 为水密度(质量/体积)；ρ_o 为油密度(质量/体积)；d_p 为油粒直径；μ 为水的黏度。

2. 横向(水平)速度 最大 $V_h = 15 V_r$

3. 流量系数 F 从图 5.74 中得出

4. 截面积 $A_c = Q / V_r$

式中：A_c 为截面积；Q 为最大流量。

5. 分离器深度 d 在 0.9～2.4 m 之间

6. 分离器宽度 B 在 1.8～6.1 m 之间

7. 深度与宽度之比 d/B 在 0.3 到 0.8 之间

8. 沟渠数目 n，当 $A_c > 15\ m^2$ 时 n 要大于 1

9. 水平面积 最小 $A_s = F(Q / V_r)$

10. 分离器长度 $L = A_s / B = F(V_h / V_r) d$

图 5.74 紊流和短流因子

图 5.75　加气浮选法

图 5.76　溶解空气浮选法

2　乳浊液

油也可以以乳浊液的形式存在于废水中,这实际上是油以稳定的形态分散于水中。下面将论述两种形式的乳浊液:物理乳浊液和化学乳浊液。物理乳浊液是通过抽吸或混合油水液的过程形成的,化学乳浊液一般是工业生产或其他应用中加入化学试剂而形成的。两种形式的乳浊液可以与游离态油共存于废水中。分别处理各种类型的含油废水时,必须小心取样进行试验和分析工作。

处理含乳化油废水的目标是破乳化,使油类和脂类能够利用重力法或浮选方

法分离。破乳化以后,便可使用与去除游离态油相同的技术来处理废水。

物理乳浊液的破乳化可以应用聚结,添加化学絮凝剂或凝聚等技术。这些技术的实质就是促进油滴之间的接触,以形成较大液滴,从而便于除去。较大的油滴具有较小的密度,可以利用前面介绍的技术进行油水分离。

由于污染物的性质,化学乳浊液的处理难度要大得多,但是也研究尝试了几种可行技术。这些技术包括使用絮凝剂,调节 pH 或加热。在加热或不加热的条件下加酸破乳化是最常用的方法。一般分批量操作,加入硫酸或盐酸调节 pH 为 1～2,再加入絮凝剂,并加热至 38～66 ℃,就可以破乳化。这样,油类就可以与水脱离,然后用其他方法分离。破乳化因废水特性各异而有很大差异,在系统设计之前,须首先认真地进行实验室试验。

5.10.6 重金属的去除(Heavy Metals Removal)

废水处理包括 Pb、Cu、Hg 和 Cr 等溶解态或颗粒态重金属的去除。这些金属材料在工业生产中被大量使用,因为它们不能自然降解且相对低浓度下就有剧毒

图 5.77 铬、铜、镍、锌的氢氧化物的溶解度

性,所以对环境危害大。幸好重金属通常不溶于水(视 pH,金属种类和是否存在其他离子等具体情况而定),因此可以用物理法除去,如沉淀或过滤。除去重金属通常要调节 pH,使它们沉淀下来(碱性范围的 pH 内,形成氢氧化物沉淀,酸性范围的 pH 形成硫化物沉淀),然后将沉淀下来的固体用絮凝法和重力沉降法或过滤法除去。从理论上可以算出一定 pH 下重金属的溶解度再设法将其沉淀下来。图 5.77 和 5.78 所示的是一般金属的溶解度,其中假设金属离子以游离态形式存在,并且某种离子沉淀时,不发生竞争反应。

图 5.78　铝和铁氢氧化物的溶解度

一些金属由于特殊的性质而难以除去,比如金属铬可以以六价形式存在(Cr^{6+}),也可以以三价形式存在(Cr^{3+})。六价铬有毒性,且在碱性环境下不能以氢氧化铬的形式沉淀下来,然而 Cr^{3+} 可以在碱性条件下沉淀下来,因此为去除 Cr^{6+},第一步是要 Cr^{6+} 还原为 Cr^{3+}。这一步可以通过加酸或强还原剂如 SO_2或硫代硫酸钠实现,一旦还原完成之后(通常小于 1 小时),铬就可以和其他存在的金属一起被去除。

一些金属(特别是铝和铁)的另一个特性是,如果 pH 升得很高,它们会变得非常易于溶解。例如,当 pH 在 6～8 之间时,铝会形成不溶的絮凝物,但 pH 大于 8 时,这种絮凝物会重新溶解,在这种 pH 条件下,用物理方法很难将其去除。这些金属被称为有酸碱两性的,因此处理时必须考虑这些特点。各种金属离子的特性以及将其从水中去除的方法在一些 EPA 的出版物中有讨论。

一旦金属絮凝体(通常是氢氧化物或硫化物的絮凝体)形成,通常会加入含石灰和/或阴离子聚合电解质的化学凝结剂以促进澄清池内固体的重力去除。这些化学添加剂及澄清过程的典型设计标准见表 5.84。需要说明的是污泥回流常常被用来促进凝聚并改善固体分离性能。

表 5.84 重金属沉淀数据

参数	典型范围
pH 调节(石灰,苛性碱,CO_3或 HCO_3)	根据特定金属离子选择
阴离子聚合(高分子)电解质	0.5～5 mg/L
快速混合	1～2 min
絮凝	2～5 min
沉淀	20～40 $m^3/(m^2 \cdot d)$

我们必须认识到由于金属在水中的溶解度,它们的去除水平是有限的,因此当存在多种金属时,在单一的 pH 条件下,不可能达到排放水平的要求。这种情况下,需要进行多次的 pH 调节和澄清以在最适宜的 pH(最小溶解度)条件下去除金属。通常两步就足够了,但如果要达到更高的要求,必须要使用第三步,这一步由最终 pH 精确调节和过滤器组成。

另外一种完全不同的不依靠凝聚的方法也可以用来去除重金属。这种方法就是离子交换,它们利用金属的离子特性,将其吸附到人造树脂上进行中和。

5.10.7 后曝气(Post-aeration)

后曝气的目的是为接受水体提供额外的氧气。后曝气可以将工厂排水中的溶解氧浓度由通常的 0.5～2 mg/L 提高到 4～6 mg/L。在排水中溶解氧水平较低时,这种增加的溶解氧可以保证受纳水体的溶解氧标准。

四种主要的后曝气技术是扩散曝气、机械曝气、阶梯曝气和 U 管曝气。这些技术在结构、机械、操作和维护上的要求各不相同,氧气的传输方法也不同,(见图 5.79)。由于后曝气可能产生类似于清洁剂类型的泡沫,因此,设计时必须考虑在排放前清除这些泡沫的设备。

图 5.79　后曝气系统

1. 扩散曝气

扩散曝气系统是利用扩散器向处于池中的排水(废水)供氧 10～30 min,转移到水中的氧气量取决于一系列因素,主要因素是废水中的氧气水平和温度。表 5.85 列举了该系统的典型设计参数。

表 5.85 扩散后曝气系统设计数据

参数	数值
池深	2.7～4.6 m
池宽	3～9 m
宽深比	1.5,最大 2.0
滞留时间	10～30 min
需气量	1.5～15 $m^3/(min \cdot m^2)$池面积

2. 机械曝气

机械后曝气可以利用涡轮或泵曝气器。曝气机理是通过曝气器的旋转使大量废水暴露于空气,从而使氧气扩散进废水中。系统的设计决定于曝气器的功率和叶片结构,这决定了最小面积、最大间距和深度。通常曝气机功率为 0.006～0.02 kW/ m^3,要视池子容量而定。

3. 阶梯曝气

阶梯曝气让水以薄层形式,流过阶梯或堰,从而造成极大紊乱,使氧气从空气转移到废水中达到最大化。要有 1～3 m 的水头,这取决于溶解氧的初始水平和需要增加的溶解氧量。如果水头不能满足这个要求,就需要用水泵来提升,那么这种方法的低能耗优势就被抵消了。

4. U 管曝气

需要用抽气机或压缩机和扩散器将空气充入 U 管曝气器中。这个名字来源于一个 U 形向下的运输废水的管道。一个中型工厂的水头要求大约为 1.5 m。设计还需考虑气水比和管道截面积。这一系统不常用于后曝气,但更常用于干管曝气。

5.10.8 消毒(Disinfection)

消毒主要目的是杀灭致病微生物和各种虫卵等。最常用的废水灭菌消毒方法是氯化处理。考虑到副作用或不希望的副产品的产生,对一些废水可以不采用氯化处理而采用其他消毒方法。

最近有 4 种新技术用于废水消毒处理,其中更常用的是臭氧处理和紫外线消毒。其他可用的技术包括其他的化学消毒剂等,如溴、氟、碘、过氧化物、高锰酸盐、羟基类化合物、酒精、表面活性剂、重金属,以及酸和碱。加温和辐射方法也可以利用。

在许多方法都显示了前景的同时,氯化处理仍然将继续作为最基本的消毒工艺,因为它有着被证实的表现,成本较低,可以大规模地应用,毒杀致病菌,还可以控制气味和在水中保持一定的余量。

1. 氯化处理

氯化处理是水消毒最常用的方法,它是利用氯气、次氯酸或二氧化氯来完成消毒过程。对于消毒剂来说控制合适的混合和接触时间是非常重要的,而且消毒效果还要通过对余氯的监测来保证。

在消毒剂加入时快速的扩散可以增加接触时间,并提高消毒效果。如果工厂的水压或其他因素导致对扩散的阻碍,可以利用机械混合或空气搅拌。水平流速应保持不小于 2～4.5 m/ min 以减少固体的沉淀。

混合后,在峰值流量时要有 15～30 min 的接触时间,设计者需考虑有关法规对接触时间以及残留氯的要求。通常,余氯要求达到 0.5 mg/ L。

经过特定的一段时间后,剩余的化合性氯和游离氯的总浓度就是总余氯。总余氯须采样后立即测量。

氯的需求量就是氯的供给量与余氯量的差,它是消毒以及接触时期任何其他氯需求反应中氯的需求量的和。所以,氯的剂量必须同时满足需求量和余氯要求。典型的氯剂量范围见表 5.86,对于一个给定工厂的实际氯需求必须通过适当的现场实验后来决定。氯化设备的规格要满足大约 85～170 kg Cl_2/ (10^3 m^3)处理要求。

表 5.86　消毒所需氯剂量

要消毒的废水	氯气剂量/ (mg·L^{-1})
生活污水	6～12
生活污水(腐败)	12～25
经沉降的废水	5～10
经沉降的废水(细菌性)	12～40
化学沉淀后出水	3～10
滴滤池出水	3～10
活性污泥法出水	2～8
沙滤出水	1～5

(1)氯

氯与水结合形成 HOCl 和 HCl。在通常市镇废水的 pH 和浓度条件下水解作用会进行到底。HOCl 和 OCl^- 离子是可以很方便地获得和使用的氯,HOCl 在 pH 为 6.5～7.5 时具有很强的消毒能力。保持 pH 低于 7.5,可以防止 HOCl 转变为

OCl^- 离子。氯与废水中的氨作用可以形成单氯胺,这是一种长久的但相对作用较慢的消毒剂。

有很多种氯控制系统,图 5.80 列举了其中一种,它可以根据废水流量和余氯的数据信号而决定加氯动作,所加的氯量是装氯容器的减重。

图 5.80 加氯控制系统

通常液化氯装在增压容器中送往工厂。在大多数情况下,气态氯从容器顶部放出通过加氯器利用真空注射器加入(在一些容器中的蒸发速率不能满足要求的大型工厂需要另加蒸发器)。氯气在注射器中与处理废水或饮用水混合形成溶解态的氯,有控制地进入氯接触室的上部——混合部。

(2)次氯酸盐

最常见的两种次氯酸盐是次氯酸钙和次氯酸钠,分别可以买到干燥和液态的这两种物质。次氯酸盐和氯气一样具有潜在的氧化和消毒作用,并且,除了进料器、储存和一些管道外,次氯酸盐系统与利用氯的系统很相似。

选择氯或次氯酸盐主要取决于安全考虑和经济因素。在邻近人口密集区域的处理厂储存液化氯气具有危险性,而使用更安全的次氯酸盐则可以避免这种危险。两种方法的资金投入差不多,但次氯酸盐法的操作费用要高一些。

次氯酸钠在用量不大的情况下可现场制备,或用槽车运送。槽车将物料卸入储存池,储存池上有反馈器可以控制向废水中投加物料的量。

(3)二氧化氯

二氧化氯(ClO_2) 是一种不稳定的强腐蚀气体。它一般在现场制备:通过混合亚氯酸钠溶液和氯气,保持与水相接触以确保二氧化氯存在于溶液中并避免可能的爆炸。

同氯气和次氯酸盐一样,二氯化氯也是一种很强的氧化剂和良好的消毒剂,二氧化氯的优点在于可在更宽的 pH 范围内保持良好的效果。同时,它还不会与氨反应生成氯氨化合物而降低效果。其缺点在于费用较高,并且缺乏合适的低残余

检测方法。

2　脱氯

人们日益认识到在使用氯化物处理供应水和废水时产生的有机卤化物对人和生物的潜在毒性,因此,脱氯处理系统变得越来越普及。其方法包括,使用还原剂类,如二氧化硫或亚硫酸钠、活性炭、阳光,延长储存期,或对一些挥发性氯化物曝气等。

(1)二氧化硫

二氧化硫(SO_2)可以作为一种非常成熟的技术用来处理较大的流量,具有很好的效果和很低的费用。其操作如下:将二氧化硫溶入水中,将很快生成亚硫酸并同时与游离和化合态的氯反应,生成少量硫酸和盐酸。产生的酸可以被废水的缓冲能力中和。

二氧化硫的使用装置同氯气相似。如表 5.87 所示,每 mg/L 的二氧化硫对余氯的比值可用于设计参考。在混合接触罐内反应时间以 5 min 为宜,但由于实际反应十分迅速,在线混合系统也可满足需要。

表 5.87　脱氯化学物质进料率

化学试剂	典型进料率/(kg/kg)余氯
二氧化硫	1.1
亚硫酸钠	0.57
亚硫酸氢钠	0.68
硫代硫酸钠	1.43

注:接触时间 1～5 min。

根据脱氯程度的需要,有两种二氧化硫反应系统可选。一种是闭环反馈系统,其脱氯残余水平在 0.1 mg/L;另一种是开环反馈系统,其脱氯残余水平基本达到零,两种系统的流程示意如图 5.81。

由于二氧化硫是还原剂,如过量则会导致处理出水中溶解氧的降低。因此,需采用后曝气和/或再曝气以恢复水中的溶解氧水平。这种情况下投资和运行费用分别会有很明显的增加。

(2)亚硫酸盐

对于日处理量小于 3800 m^3 的处理装置,亚硫酸盐可用于脱氯操作。最常用的形式为亚硫酸钠(Na_2SO_3)、亚硫酸氢钠($NaHSO_3$)和焦亚硫酸钠($Na_2S_2O_5$),类似二氧化硫,这些物质与游离氯反应十分迅速。

亚硫酸盐可通过人工或自动投加系统以固体或液体形式投加。表 5.87 提供了常用的亚硫酸盐投加率。

图 5.81 二氧化硫除氯系统(a)闭环反馈系统;(b)开环前馈系统

(3)活性炭

活性炭的脱氯是一物理过程,可通过吸附作用去除游离氯,氯化铵类和氯化有机物。这项技术还可以附带除去残余的有机物及一些可能的氯化有机毒物。该处理技术十分有效可靠,而且易于操作。

深度水处理中的装置及设计原理可用于脱氯系统。一个典型的活性炭脱氯床用来处理废水可达 2.9 m^3/ min,接触时间 15～20 min。

由于活性炭脱氯方法投资与运行成本都相对较高,因此化学处理方法可行时,一般不采用该方法。最好在已较完全地去除了有机物之后使用该方法。

3. 臭氧氧化法

由于欧洲一些年来在给水净化方面的应用以及其所具有的高氧化能力,作为氯的替代品,O_3已获得广泛的认可。O_3具有和氯一样的杀菌能力,或许在对付非活性病毒时更具有优越性。而且,O_3能降低废水色度和消除异味,不产生溶解性

固体,不受 pH 影响,还能提供充氧的出水。

有许多利用臭氧作消毒剂的中试研究和工业应用规模运行的结果可以参考。对最好的结果而言,过滤或其他三级处理工艺应放在臭氧处理工序前,因为可氧化有机物可能比用于杀菌消毒时消耗 O_3 更快。

O_3 是一种相当不稳定的气体并且能相当快地分解为原子氧,因此人们可以在现场用臭氧发生器根据让电荷通过空气或氧气的原理来生产臭氧。可用自动化装置来控制电压、频率、气流和湿度。

废水的 O_3 处理可以通过机械混合、对流或并流柱、扩散或注射来完成。O_3 剂量和废水的接触时间会随着水质的不同而不同。但是,一般的变化范围分别是1～10 mg/L 和少于 15 min。

三个 O_3 净化系统的典型流程图如图 5.82。由于从氧气中产生 O_3 相对从空气中产生 O_3 大约只需一半的能量,因此具有氧循环的带盖接触室值得仔细研究。

使用 O_3 的不利条件是其较高的成本和运行费用。

图 5.82　臭氧消毒过程

4. 紫外照射法

运用紫外线照射来对废水灭菌消毒(高投入但是低运行费用)已经发展成为一种技术上和经济上都可以和以氯为基础的消毒系统有竞争性的方法。合适的紫外照射剂量能有效的杀菌和消毒,而不会促进形成有毒化合物。

当前,能产生用于灭菌消毒的紫外线的主要方式是低压水银弧光灯。这种水

银灯颇受青睐,是因为在波长为 253.7nm 处大约有 85% 的发出光是单色光,这都在紫外线杀菌作用的最佳范围(250～270 nm)之内。为得到能产生紫外线的能量,含有水银蒸气的灯通过触发电弧充电。然后,由灯内水银蒸气的激发而导致紫外线的放射。在开始使用紫外照射法初期,多盏灯被水平排列,现在,垂直配置也已实现。

紫外线是一种物理的而不是化学的药剂。紫外线照射能穿透微生物的细胞壁,并能被包括 DNA 和 RNA 在内的细胞质吸收。这种情况要么阻碍复制,要么引起细胞的死亡。细胞伤害经由一系列的光化学反应进行,它要求可获得特定波长的光能,并且能被反应物种吸取。

紫外线消毒系统的设计必须考虑废水的水质和系统的水力学特性。上游处理过程的处理效果对于紫外线消毒系统的可靠作用是非常重要的考虑因素。由于只有那些能照射到细菌的紫外线对于杀菌才是有效的,因此水必须是比较清的,污浊能吸收紫外线能量和遮蔽细菌,影响紫外线的杀菌效率。紫外线的有效作用厚度是非常有限的,所以大多数情况下都是设计成水流以薄层流过。考虑到紫外线必须穿透的液体厚度,大多数紫外线处理系统都是由紫外灯构成阵列,而废水就从紫外灯阵列中流过。

所有的废水都能在一定程度上吸收紫外辐射。这种废水自身的吸收作用使得随着离紫外灯越远紫外辐射强度越低。因此,那些离紫外线灯近的微生物就比不靠近紫外灯的微生物更易于被杀死或失活。由于紫外线的透射比(一种对介质传递给定波长并通过已知长度路径的光的能力的分析标准)的下降,可利用的紫外线强度的下降,以至于会产生不理想的灭菌消毒效果。许多实验证明,紫外消毒系统当其紫外线透射比约为 65% 或更多时(λ= 254 nm,路径 = 1.0 cm)就能达到一个比较理想的消毒效果,但在透射比低于这个水平时也可能达到足够好的效果。

紫外照射的优点在于它没有要处理的化学物,不要求添加化学药品于废水中,也不存在形成味觉和气味问题的可能性,其实际应用包括特殊目的如船上或一些孤立的风景胜地等地方饮用水的灭菌消毒,也可用于诸如啤酒厂之类的工业企业。

紫外照射的一个主要的缺点,特别是对于市政废水的灭菌消毒,在于它不能保证防止二次污染。这样,管理部门可能会要求用备用的支持系统。其他不利条件是浊度、色度或有机化合物都可能影响消毒处理的有效性。

在紫外照射的经济方面,它的初期投入相当高,但其运行和维修费用却非常低。另外它的成本核算应考虑运行支出和用于附加设备如前期过滤和备用消毒系统的费用。

第十一节　高级处理
(Advanced Treatment)

已经有许多种控制各种特殊有机和无机污染物的处理工艺,它们既可以单独运用也可组合作为高级的废水处理系统应用。最为常见的是营养物质 N 和 P 的去除,还有采用过滤除去悬浮固体。其他一些较为常用的处理技术包括碳吸附、离子交换、反渗透等。

5.11.1　氮的控制(Nitrogen Control)

水体中过量的 NH_3和/或硝酸盐能促使富营养化的发生。水体中微生物氧化 1 mg NH_3需要 4.57 mg 的氧,其结果对水质是有害的,而且,在饮用水供给中高含量的硝酸盐能引起相应的健康问题。因此,氮化物的去除对于维持水质标准是必要的。

废水中氮的控制一般从氧化氨态氮的硝化开始,到把硝酸盐和亚硝酸盐还原为 N_2的反硝化作用而结束。普通氨态氮的氧化作用可以通过生物的或者诸如氨吹脱、折点氯化法、离子交换等方法来完成。反硝化作用则通常是由生物处理来实现。图 5.83 所示即是一般的去除生物氮的处理过程。

图 5.83　生物氮控制

废水的温度和 pH 是两个重要的设计参数,正如图 5.84 所示的那样,这些参数能影响氨和铵离子的分布。铵转化的典型生物过程在较低 pH 时起作用,而氨吹脱系统则要求高 pH。温度对负荷和性能标准有影响。

图 5.84 pH 与温度对氨和铵分布的影响

1. 硝化作用

生物硝化作用可通过单级或分级悬浮生长系统来实现,也可通过附着生长系统来实现。硝化作用可分为两步,首先是由亚硝化细菌把铵转变成亚硝酸盐,然后由硝化细菌把亚硝酸盐转变成硝酸盐。亚硝化细菌相对较低的生长速率对硝化作用过程是一个限制因素。这两种菌在温度为 30～36℃、pH 为 8.0～8.5 以及 DO 接近 2.0 mg/L 时有最大活性。

用于硝化的活性污泥系统可通过确保以下几个条件来设计:

①泥龄要足以允许硝化生物维持生存。这至少是 5 天,在较低温度下,如 10℃将需要更长时间。对工业废水而言,泥龄应通过实验来确定。

②没有毒性物质和抑制性物质生成。这些物质能对硝化生物的生存和生长起阻碍和压制作用。

③适当的 pH、DO 和其他环境条件,以满足生物体基本的新陈代谢需要。

在这些条件下,活性污泥系统常显得优越于附着生长系统,因为附着生长系统是一个更不可控制过程并且含碳 BOD 去除效果较差。

由于较为缺乏相应的知识和对泥龄的控制,一个附着生长系统的设计相对更

为困难。根据在用于生活污水处理的中试和工程规模试验的经验,对于非典型的生活或工业废水,应该用实验的方法来确定设计参数。

附着生长系统(如,填料柱,生物转盘或流化床)一般来说是可以作为一个二级工序的,并且具有不需要通过重力澄清和生物固体循环就能维持硝化作用的优点。当考虑到固体分离和泥龄时,二级悬浮生长系统是比较难以控制的。

(1)单级悬浮生长

单级硝化使用单一曝气池来氧化氨和含碳物质,相应的设计条件列于表5.88。

表 5.88　单级硝化设计数据

参数	典型值
温度	30℃或更高
pH	8.0～8.5
F/M	0.05～0.15
曝气停留时间	18～24 h
泥龄	20～30d
MLSS	3000～6000 mg/L
容积负荷	0.08～0.24 kg BOD_5/m^3
DO	1～2 mg/L

由于硝化菌的生长速率相对较慢,因而污泥停留时间显得特别重要。另外温度和DO浓度也是影响硝化程度的关键因素。

硝化时每氧化1mg/L氨氮需要7.5mg/L碱度,因此要添加石灰以补充自然碱度。温度对这一反应有很大影响。

(2)分级悬浮生长

在分级硝化作用里,碳物质的去除和硝化作用使用不同的处理工艺,该系统的主要优点在于它同时为这两个过程提供了一个优化水力负荷和有机负荷的机会。图5.85说明了该系统对沉淀池的要求,而典型的设计参数列于表5.89。

表 5.89　分级硝化设计数据

参数	典型数值
曝气	
pH	7.6～7.8
MLVSS	1500～2000 mg/L
DO	1.0 mg/L(最小)
污泥回流比	50%～100%
澄清	
表面负荷	16～24 $m^3/(d\cdot m^2)$
固体负荷	100～150 $kg/(d\cdot m^2)$
停留时间	0.5～3 h

图 5.85 分级硝化系统

分级硝化和单级硝化在诸如温度、溶解氧浓度方面有相似的敏感性。但是分级硝化可以在更低 BOD_5浓度的条件下运行,而且并不要求如单级硝化作用一样大的泥龄(10～20d)。

(3) 附着生长

采用滴滤池、生物转盘,或者其他附着生长系统进行硝化的情况不太多。一般来说主要的顾虑是对过程的控制,以及不同的季节温度。通常,至少需要两级处理系统。

对于附着生长系统,设计参数不够丰富。但是,有关滴滤池的一些资料表明在低有机负荷,比如 0.1 kg BOD/(m^3·d)或更少,和在水力负荷大约为 2 m^3/(d·m^2)条件下,硝化作用进行得很好。

2. 反硝化作用

兼性异养菌的反硝化作用能将硝酸盐和亚硝酸盐还原为氮气。由于废水中碳物质的含量通常比较低,因此要补充碳源,通常是用甲醇。每去除 1 kg 硝酸盐常需要 1～2 kg 的甲醇。而且,补充的剂量应随着硝酸盐的浓度和废水的温度仔细调整。未经处理和部分处理的废水可用作碳源,但这样会降低该处理过程的效率。

悬浮或附着生长系统均可用来进行反硝化作用。由于反硝化需要厌氧条件,因此建议对废水曝气 5～10 min 即可。

(1)悬浮生长

用来进行反硝化的悬浮生长系统,包含有一个带盖子的厌氧反应器,该反应器配有絮凝型搅拌器和一个供污泥循环用的沉淀池。典型的设计参数列于表 5.90,在设计中水温和碳源要考虑进去。

表 5.90　悬浮生长反硝化设计数据

参数	典型值
反应器	
pH	6.5～7.5
MLVSS	1000～3000 mg/L
搅拌器动力消耗	6.5～13 kW/1000 m^3
澄清池	
深度	3.75～4.7 m
表面负荷	16～24 $m^3/(d\cdot m^2)$
固体负荷	100～145 $kg/(d\cdot m^2)$
污泥回流比	50%～100%
停留时间	约 2h

(2)粗介质附着生长

使用粗糙的天然或人工合成介质的反硝化过滤器,是一种在淹没式过滤池内厌氧条件下工作的附着生长工艺。有许多材料,包括沙砾、石头和塑料都可用,选择的条件是要有较高的孔隙率。在考虑温度和碳源的基础上下流式过滤器(填料柱)的典型设计参数可见表 5.91。可供选择的还有上流方式的(如流化床)。

表 5.91　粗介质反硝化过滤器设计参数

参数	典型值
介质直径	大于 15 mm
孔隙率	70%～95%
比表面积	215～900 m^2/m^3
表面负荷	100～165 $L/(d\cdot m^2)$
负荷(NO_3-N)	2.4～6.3 kg/m^2
反冲洗	非经常

粗介质过滤器有这样的特点,其脱落的生物量能极大地提高废水中的悬浮固体量,以至于要求额外的澄清。对过滤器进行反冲洗也可考虑用来控制悬浮固体。

(3)细介质附着生长

细的自然、人工合成介质或多介质附着生长反硝化过滤器,必须在密封的淹没式压力床里维持厌氧条件。这一过程要补充碳源而且对水温敏感。表 5.92 给出了一种下流式过滤器(填料柱)的典型设计参数。也可考虑上流式过滤器(流化床)。

表 5.92 细介质反硝化设计数据

参数	典型值
介质直径	2～15 mm
孔隙率	40%～50%
比表面积	280～985 m^2/m^3
表面负荷	30～410 $m^3/(d\cdot m^2)$
反洗频率	0.5～4d
反洗率	470～1465 $m^3/(d\cdot m^2)$

细介质能保持一定的生物量脱落,使废水中的悬浮固体浓度较低。然而,为维持一种可接受的通过过滤器时造成的水头损失以及为去除脱落物就要求定期地对过滤器进行冲洗。介质越细,需要冲洗的频率也越高。

3. 空气吹脱法

吹脱法的实质是:让废水与空气充分接触,使废水中的溶解气体和易挥发的溶质穿过气液界面,向气相扩散,从而达到脱除污染物的目的。这里是通过提高 pH 把铵离子转变成氨,然后把废水通过空气吹脱塔,将氨去除。这种塔也是一种填料塔,在其底部开口处引入一股空气逆流。典型的设计标准可见表 5.93。

表 5.93 空气吹脱法设计数据

参数	典型值
废水负荷	60～120 $m^3/(d\cdot m^2)$
气水比	2245～3740 m^3/m^2
废水 pH	10.8～11.5
气压降	0.0125～0.0158 cm-H_2O/m
填充	
材料	塑料或木材
空间	0.8 cm 水平或垂直

该过程对空气温度非常敏感。例如,空气温度在 20℃时,氨去除率可达 90%～95%,但当温度为 10℃时,去除率降到大约为 75%。而且,氨浓度低于 10 mg/L 时其去除效果不理想。该过程还不能去除其他形式的氮。

4. 折点氯化法

铵离子能被氯氧化成氮气,同时生成盐酸。这就需要添加氧化钙或苛性钠来

中和。在含氯的场所使用次氯酸钠可避免这种酸性副产品反应。

用氯来氧化铵离子时,需要量水平有一个转折点,该过程正是由此命名。为了使诸如氯代烃、余氯的生成和超量氯浓度的最小化,对于氯剂量的控制就显得十分重要。pH 也应该严格控制。典型的设计参数见表 5.94。

表 5.94　折点氯化法设计数据

参数	典型值
pH	6～7
接触时间	30 min
氧化剂剂量	
氯/ 铵离子	8～13
次氯酸钠/ 铵离子	9～14
中和反应剂量	
氯化钙/ 氯	0.9～1.1
苛性碱/ 氯	1.5
碱/ 次氯酸钠	不需要

假如余氯过多,那么就需要脱氯。二氧化硫或活性炭是常见的脱氯添加剂。

折点氯化法的成本相对较低,但其运行费用却是非常高,特别是对于含高浓度铵(大于 15 mg/ L)的废水。

5. 离子交换

选择性离子交换和斜发沸石介质一起被用于铵离子的去除。它特别适用于非常冷的地方或者当要求有更高的去除率时。

这种介质必须通过空气吹脱,电解液(氯化钠)处理或者如硫酸、盐酸等的强酸来定期地再生。在设计时,再生废液的去除和处置也是一个重要的考虑因素。

典型的离子交换法在废水流量为 350 m^3/ ($d \cdot m^2$)时可达到 93 % ～97 % 的氨去除率。

5.11.2　磷的控制(Phosphorus Control)

磷不像碳和氮那样主要从大气层进入水体,而是通过土地侵蚀和废水排放进入。所以磷的排入水体可以控制。先进的农业耕作技术和合理的土地规划管理和沉积控制法规可以减少土壤侵蚀,从而控制磷的污染。城市和工厂废水处理中,磷的控制有多种方法,选择哪一种控制磷的方法取决于除磷程度的要求或排放标准、废水状态特征,以及处理效果-经济分析。

1. 磷的排放标准

城市废水中磷的浓度通常为 10～30 mg/L。排放标准可以表示为磷的去除率或者具体的排放浓度,如 1.0 mg/L。

因为磷的总量对于加快水体富营养化的速度是至关重要的,所以必须在这方面进行深入的研究。从土壤侵蚀进入的磷在水体生物相和非生物相之间不断进行交换,使这方面的研究变得复杂。由于技术上的进步,对磷控制而言,排放标准更容易确定了。

2. 特征

废水中,磷的主要存在形式为正磷酸盐、多磷酸盐和有机磷。通过生物处理过程,磷的存在形式能发生重大变化。在二级处理排放出水中,大多数的磷都是正磷酸盐形式,这种形式最容易通过化学沉淀作用去除。

未经处理的市政废水以及现存处理设施不同区段的废水的水质都应该确定。在诸多应该考虑的因素中,以下是几个主要参数:碱度;二氧化碳;溶解氧;硬度;pH;正磷酸盐;总磷;温度。

此外,必须检验废水中的离子成分以确定那些可能影响随后处理工序的离子是否存在。

常规的沉淀处理能有效去除悬浮(不溶性)形态的磷;然而只有一部分(细胞吸收)可溶性磷能通过常规生物处理去除。因此,可溶性磷化合物必须给以特别的重视,要将其去除以达到磷的排放标准。磷的去除可以通过进水控制、处理控制和出水控制来实现。

3. 进水控制

社会接受是选择磷的进水控制方案的一个主要考虑因素。通常,进水中磷的控制的深入调查由于缺乏资金或是原水中含有特别高浓度的磷会使得情况变得非常复杂。在这样的情况下,可以通过清洁剂中磷的控制或主要磷污染源,如工业区磷的控制来实现磷的进水控制。洗涤剂产业生产低磷或无磷洗涤剂能为控制进水中的磷作出贡献。

4. 处理工艺控制

改进目前的处理工艺和对废水处理厂进行改造,比如增加新的处理工艺以及扩充处理设备,都能降低废水处理厂出水中磷的含量。每一种方法的改进都要特别注意对固体废物的处理和对固体、液体残渣的最终处置。

磷的处理工艺控制对污水处理厂的正常运行和维持上的影响可大可小。在大

型处理厂,大多数的系统可能都是自动化的,因此不要求给予太多的注意。化学沉淀的标准操作包括化学反应池的重新补充、泵的调整、记录图表的变化,也包括处理过程中和出水中水质的监测。不管哪种处理过程,除此之外都必须还要作抽样和检测,并且还必须定期对整个处理设备的正常运行条件进行复查分析。

作为磷控制计划的执行的一部分,应对污水处理厂当前的安全计划进行复查。假如危险药品需要用在处理过程中,则应给工厂员工以特别的护理,还要有防止突发事件的方案。

污水处理厂的运行,比如空气的供给、固体负荷和水流的模式,都可被改进以提高磷的去除率。例如,短泥龄能通过沉淀作用除去化合态磷和不溶性磷。

好氧条件有助于使可溶性磷转变成不溶性磷,对于含磷浓度高的废水尤其应保持好氧条件。相反,假如废活性污泥回流到低溶解氧的初沉池中,磷就会从污泥释放到水体中去。

控制运行过程以去除磷的方法可能还不能满足出水要求,但因为其相当容易的操作和低成本,因此应该考虑把该方法与其他处理方法结合起来应用。

通常,污水处理厂可以通过附加特别的处理过程比如化学沉淀、吸附和离子交换等进行改造。扩大污水处理厂的规模也可以考虑作为一种选择。

一般而言,在排放标准要求有更高的 BOD、SS 以及 P 的去除率的地方,扩大规模的选择是十分吸引人的。当然也有另外的情况,比如空间有限,以至于废水不得不转运到其他地区以进行进一步处理。

这种扩大规模的选择可以考虑将全部或部分废水处理厂出水转向新的没有磷的限制的排放地排放。而且,这种选择应该考虑出水的土地应用或排向另一个处理系统。

5. 化学除磷

化学沉淀法是除磷的最常用的处理工艺。通过先审查废水特性、设备要求、经济性和其他因素、絮凝剂的选择及使用特点来确定化学沉淀工艺。石灰、铝盐、铁盐和聚合物应用较多。这些化学物质可用于初沉池的进水或出水,曝气池的进水或出水,也可用于终沉池的进水或出水,或者来自于污泥处理系统的液体。

为了进行达到设计的去磷水平的计划层面的成本估算,美国环保署开发出了去磷模型。表 5.95 列出了 22 个处理方案可供选择并可通过模式进行评估。

表 5.95　化学沉淀物除磷方案

1. 明矾及聚合物加入初沉池
2. 氯化铁及聚合物加入初沉池
3. 氯化亚铁及氯化钙加入初沉池

续表

	4. 氯化钙加入初沉池
	5. 明矾及聚合物加入絮凝池
	6. 氯化铁及聚合物加入絮凝池
	7 氯化亚铁及氯化钙加入絮凝池
	8. 氯化钙加入絮凝池
	9. 明矾加入曝气池
	10. 氯化铁加入曝气池
	11. 铝酸钠加入曝气池
	12. 明矾加入曝气池和多介质过滤器
	13. 氯化铁加入曝气池和多介质过滤器
	14. 铝酸钠加入曝气池和多介质过滤器
	15. 渗滤后加入明矾
	16. 渗滤后加入氯化铁
	17. 渗滤和多介质过滤后加入明矾
	18. 渗滤和多介质过滤后加入氯化铁
	19. 传统二级处理后在絮凝池加入明矾
	20. 传统二级处理后在絮凝池加入氯化铁
	21. 传统二级处理后在絮凝池加入石灰(一段)
	22. 传统二级处理后在絮凝池加入石灰(二段)

这一模型还考虑了四个层次的去磷标准。如表 5. 96 所示,通过提供的处理类型可以得到假设的出水含磷浓度标准(未经过滤)。与此相关的处理方案数量见表 5. 95。这一计划工具可用做开发化学磷处理替代方法的第一步。新的或改进的条件,化学物质的成本与是否易于获得,以及污染处置选择也是替代处理方法开发中应考虑的重要因素。

表 5. 96 化学除磷处理方法选择

出水浓度	处理方法选择	处理方案
2 0 mg/ L	选择 1. 初沉池加入化学试剂	方案 1～4
	选择 2. 在初沉池前絮凝池加入化学试剂	方案 5～8
	选择 3. 曝气池加入化学试剂	方案 9～11
	选择 4. 滴滤池后加入化学试剂	方案 15～16
0. 5 mg/ L	选择 5. 曝气池及多介质过滤池加入化学试剂或在滴滤及多媒介过滤后加入化学试剂	方案 12～14 方案 17～18
	选择 6. 常规二级处理后在絮凝池加入石灰石	方案 21
0. 3 mg/ L	选择 7. 常规二级处理后在絮凝池加入明矾和氯化铁(一段)	方案 19～20
0. 1 mg/ L	选择 8. 常规二级处理后在絮凝池加入石灰石(二段)	方案 22

化学絮凝剂的用量随着一些因素而变化,例如:含磷浓度、碱度以及 pH。通常,絮凝剂用量如表 5.97 所示。对金属盐,一般用量约为 1:3(金属离子/磷的质量比),更多的工程项目特别用量比率应由实验室试验并通过工业试验证实来确定。

表 5.97　除磷所需絮凝剂量

絮凝剂	用量/ mg·L^{-1}
硫酸铝	75～250
氯化铁	45～90
石灰石	200～400
铝酸钠	75～150

磷沉淀物最适宜的 pH 范围随着使用的化学助剂变化而变化,例如,明矾有效 pH 为 5.5～6.5。对铁盐来说,三价铁和二价铁离子最合适的 pH 范围分别为 4.5～5.0 和 7.0～8.0。对于石灰,其典型 pH 为 9.0～10.0。

应用化学物质需提供配套的储存室、溶解池、混合器和加料器。随着化学沉淀的生成和生物沉淀物的增加,还需要固体处理设施和装置,这些都是评估化学沉淀法必须和主要的考虑。

6. 生物法除磷

生物除磷(BPR)技术是活性污泥工艺的改进。大多数 BPR 系统可达到出水磷浓度在 2.0 mg/L 以下并经常达到接近 1.0 mg/L。近年来的研究显示处理水平还可提高。完善的 BPR 处理工艺通常有较高的可溶性 BOD 与溶解态磷的比率,厌氧与缺氧区域溶解氧和硝酸盐浓度低,厌氧区简单有机化合物浓度则比较高。

选择 BPR 工艺必须首先考虑进水废水特性和出水水质限定值。可以考虑禁止使用磷酸盐清洁剂,因为这样不但可以减少磷的负荷,而且能通过提高 BOD:P 比率从而改善 BPR 处理效果。

要达到水质保护的严格处理标准,可采用化学或生物除磷工艺。工艺的选择与很多因素有关,但生物除磷因其低廉的成本、安全可靠并能满足残渣处理的要求正日益普及。表 5.98 比较了生物磷工艺相对化学除磷工艺的优缺点。

表 5.98　BPR 工艺相对于化学除磷工艺的优缺点

优点	缺点
可减少运行费用	难以达到含磷水平小于 1 mg/L 的水平
所耗化学试剂有限	对负荷冲击和紊乱敏感
避免现场化学物质的危害	操作技术要求较高
减少污泥产出	污泥处理时可能会释放磷
产生更高的生物固体肥料价值	不利于改造

生物除磷可通过营造适于特定微生物生长代谢的环境条件来达到。要发展适宜的微生物营养条件并维持它,混合液必须暴露于一系列厌氧和好氧条件下。

在厌氧区,微生物在只可获得有限的食物的恶劣环境中生存,生物体利用基质维持生命或将它储存在机体内并释放磷。厌氧条件和简单有机化合物是生物体释放磷所必需的条件。

泡状菌(acinetobacter)是能释放磷的主要细菌,对化学氧(硝酸盐)和溶解氧十分敏感。紧接厌氧区之后,混合液进入好氧区,泡状菌生长代谢活跃。因为细菌储存有大量的基质,而且混合液也含有基质,细菌生长代谢的能量需求高,结果那些早期被释放的磷被过量吸收。然后细菌储存大量的吸收磷作为污泥被从系统中去除。

在应力条件下,相对复杂基质而言,泡状菌更喜爱简单基质。简单化合物,如乙酸盐(acetate)更易被利用并且代谢能量需求更少。挥发性脂肪酸(VFAs)也是简单化合物,易于代谢,并能刺激这些有机体释放磷。VFAs,有时也叫做短链脂肪酸,是低相对分子质量有机酸,它们是厌氧消化初始阶段的产物。

在生物除磷系统设计时,一个关键的参数就是废水中可溶性的 BOD 与 P 的比率。假如,这一比率大于 10:1,废水中溶解性磷可达 1 mg/ L 或更少的水平。对低浓度废水,除磷达标能力显得勉强,但不管添加还是不添加醋酸盐和 VFAs,高负荷[40 m^3/ (d·m^2)]初沉池都可以为二级处理提供所需的基质。

利用初沉污泥发酵以促进生物除磷的做法正在日益普及。(通过)厌氧处理初沉池的污泥,可产生富含 VFA(挥发性脂肪酸)的混合物。初沉污泥发酵系统(PSF)由一个完全混合发酵器后跟一个重力浓缩池组成并且发酵污泥再循环利用。现有初沉池或厌氧消化器构造可以改造为 PSF 的主体,当然还要改造附加设备和管道。一个 PSF 系统产生 VFA 的能力为 0.2 kgVFA/ kgTSS,这一生产水平要 12～15h 的水力停留时间和 2～6d 的污泥停留时间才能达到。

生物除磷/ 营养的工艺有许多种,应用较多的 BPR 工艺包括:A/ O 工艺——厌氧/ 好氧工艺;Phostrip 工艺——低 BOD/ P 值侧流工艺;UNC 工艺——北卡罗莱纳大学工艺。

在 A/ O 工艺中,进水和返回的活性污泥(RAS)通过厌氧区,释放磷,接着在好氧区吸收磷。在二沉池,富含磷的污泥被收集起来以再循环利用或作为剩余活性污泥(WAS)进入污泥处理流程。A/ O 工艺如图 5.86 所示。其特点是有机负荷很高,污泥龄(SRT)相对较短。

Phostrip 工艺把一个活性污泥主干流程与生物除磷和化学除磷方法结合在一起。流程图见图 5.87。部分回流污泥流入剥离槽,并在厌氧条件下释放磷。在 RAS 返回前段好氧区之前对回流污泥中的溶解态磷进行陶洗。剥离槽溢流进入分离槽或初沉池用石灰进行化学除磷。也可通过弃置活性污泥达到去磷目的。

图 5.86　A/O 工艺流程图

图 5.87　Phostrip 除磷工艺流程图

图 5.88 为 UNC 工艺示意图,将二沉池出来的 RAS 转到缺氧区进行硝酸盐转化。随后,回流污泥进入厌氧区释放磷。即使对低浓度的生活废水,UNC 工艺也能达到预期处理效果。RAS 中的溶解碳可作为细菌的碳源,如果释放磷不理想,可向厌氧区投加醋酸盐或 VFAs。

从生物除磷工艺可以看出,大多数工艺的水力停留时间(HRT)标准相类似。这就意味着,一项设计可由几个工序组成,以满足废水特性的变化或规章的要求。流程区的典型 HRTs(水力停留时间)范围如下:缺氧区 1～2h;厌氧区 1～2h;好氧区 4～8h。

就主干流程(A/O 与 UNC)而言,污泥龄(SRT)和回流比是不同的,A/O 工艺的 SRT 和回流比为 2～25 天与 25%～40%,而 UNC 工艺的 SRT 和回流比则分别为 8～12d 和 50%～100%。

图 5.88 UNC 工艺流程图

为防止微生物紊乱或机制失效,通常设置预备化学物给加料系统。这些化学物质也可用来调节 BPR 废水达到要求。如果允许限定值在设在 1 mg/L 以下,那么就得提供化学物质调节或进行高级处理以确保出水质量控制。

5.11.3 营养物控制(Nutrient Control)

硝化作用被广泛应用于将氨态氮转化为硝酸盐。在敏感水域,需要反硝化作用完全去除营养氮。在美国除磷已成为优先考虑的问题。最初,人们认为磷是排水中限制性营养物,但制定法规者已经把目光放在对于敏感水域的所有营养物的排放控制。对出水中磷的限制性浓度已越来越普遍的定为 1.0 mg/L 或更少。

当要求 N 和 P 都要减少时,可以把前面已经讨论过的 N 与 P 控制技术结合起来进行生物营养去除(BNR)。应用厌氧、缺氧和好氧区,主要的 BNR 工艺有:A^2/O 工艺——厌氧/缺氧/好氧;五段 Bardenpho 工艺;UCT 工艺——开普顿大学工艺;VIP 工艺。

A^2/O 工艺是用于 BPR 的 A/O 工艺的延伸,增加了一个缺氧区和好氧区内部循环。在好氧区去除氨态氮,缺氧区降低一些厌氧区的硝酸盐负荷,以强化去除硝酸盐。在好氧区和缺氧区之间内部循环混合液发生反硝化作用。图 5.89 为 A^2/O 工艺流程图。

图 5.89 A^2/O 工艺流程图

图 5.90　五段 Bardenpho 工艺流程图

如图 5.90 所示,五段 Bardenpho 工艺包括厌氧—缺氧—好氧—缺氧—好氧五个区。工艺设计用较低的负荷来促进氮的去除。

UCT 工艺则是将活性污泥返回到缺氧区的前头,从而减少带入厌氧区的硝酸盐。结果,在厌氧区促进了去除磷。但是这一去磷最大化的设计的确减小了除氮的潜力。图 5.91 示出了 UCT 工艺各组成部分。

图 5.91　UCT 工艺流程图

VIP 工艺构想类似于 UCT 工艺。如图 5.92 所示。

图 5.92　VIP 工艺流程图

表 5.99 为 BNR(生物营养去除)工艺设计参数对照表。如同 BPR 工艺,增设了典型的备用化学物质加料系统以防生物紊乱或机制失效。同样,化学物质也可用于调节 BNR 废水成分达到工艺需要。对于磷的许可限定值浓度低于 1.0 mg/L 的情况,化学物质调节或高级过滤被用以确保出水质量控制。

表 5.99 BNR 工艺设计参数对照

设计参数	BNR 工艺			
	A^2/O	五段 Bardenpho	UCT	VIP
F/M	0.15～0.25	0.1～0.2	0.1～0.2	0.1～0.2
SRT/d	4～27	10～40	10～30	5～10
MLSS/(mg/L)	3000～5000	2000～4000	2000～4000	1500～3000
RAS/%	50	50～100	50～100	50～100
内循环比/%	100～300	400	200～400	200～400

5.11.4 颗粒介质过滤(Granular Media Filtration)

颗粒介质过滤作为碳柱等一些处理之前的预处理去除悬浮固体,是一个可行的选择方案,也可以使初步符合二级出水标准的出水悬浮固体浓度降低到 30 mg/L 或更低,使很好地符合二级出水标准的出水悬浮固体浓度达到 10 mg/L 以下,或者在使用化学物质情况下降低悬浮固体浓度水平到 10 mg/L 以下。废水处理的这一工艺类似于传统的饮用水处理工艺。

1. 设计考虑

颗粒介质过滤技术正在不断变化改善之中以满足废水处理中不断增长的应用需求,表 5.100 示出了设计方法中大多数要考虑的关键因素。图 5.93 为一典型过滤装置的结构示意图。

这一部分主要介绍最常见的系统,这是采用双层滤料的推流-下向流-重力-连续流过滤器,如图 5.94 所示。表 5.101 为典型的设计数据表。

双滤料过滤器(图 5.94)是沙层上加一层无烟煤组成(见表 5.102 说明),这一方法采用比常规的单层介质过滤器更高的流量更长的过滤器运行以达到更好的悬浮固体去除效果。无烟煤层最小厚度起始为 38～46 cm 并随着重的固体物载荷增加而增加。常见沙层厚为 20～30 cm。在清洗循环终点,反洗率需进行调整以确保过滤介质的水力分级。

表 5. 100　粒状介质过滤器的特性

项目		特性
水流		
	方案	推流
	方向	上流,下流,双向流
	类型	重力或压力
	方式	连续或间歇
介质		
	类型	普通常用自然材料
	界面	分层或不分层
	单层	细粒到粗粒
	双层	无烟煤和沙石
	多层	无烟煤、沙石、石榴石

图 5. 93　粒状介质过滤器结构图

图 5.94 双层介质过滤系统

表 5.101 双层介质过滤器设计数据

参数	典型值
过滤器数	最少两个
过滤速率	1.35～5.41 L/(s·m²)
床高	60～120 cm
沙石无烟煤比	1:1～4:1
过滤器运行时间	8～48 h
悬浮固体去除率	75%

表 5.102 沙石与无烟煤介质的特性

参数	典型值	
	无烟煤	沙石
密度	1.4～1.7	2.65
有效粒径	0.8～1.2	0.4～0.6
不均匀系数	1.4～1.7	1.2～1.6

2 过滤器的反洗

过滤器需要定期逆向流动或反洗以去除介质中的截留物。清洗的允许最大末端水头损失为 3～4.5 m,典型反洗流量负荷为 10～17 L/(m²·s),反洗时间为 8～

10 min。

反洗系统所用水源可以是过滤废水或者悬浮固体总量很少的后续工段出水。反洗水用泵从储水槽中抽取。水槽的尺寸由过滤器数量、运行周期以及反洗设计条件而定。反洗出水送到工厂的进水渠口或中间流程处理。为了保证系统的灵活性和操作人员对系统的控制,需要设有系统检测仪表和指示控制。大多数的系统是间歇运行,连续的反洗系统也有。

这种基本的反洗系统,特别是对于有机微粒,可辅助以表面冲洗或空气清洗系统来提高其清洗效果。

(1)表面冲洗

一种附加表面冲洗系统可用来松化和去除上层介质的沉淀物。有序的冲洗步骤和典型的设计参数见表 5. 103。

表 5. 103　表面冲洗系统的运行

步骤 1	过滤器停止工作
步骤 2	将过滤器水位降到洗槽顶部
步骤 3	表面冲洗水以 0. 7～2 L/ (m^2·s)的流量和 350～700 kN/ m^2的压强冲洗 1～3 min
步骤 4	开始反冲循环,可持续 5～10 min
步骤 5	停止表面冲洗
步骤 6	完成反冲循环
步骤 7	过滤器恢复工作

(2)空气冲洗

空气冲洗系统有两个目标:减少冲洗用水;对过滤器较深层部分进行清洗。该系统应该被这样设计和运行——保证气流可控以防止细颗粒介质被冲走,防止形成冲击和破坏介质的布置和分级。

有关该种系统的设计参数于表 5. 104。

表 5. 104　空气清洗系统的操作步骤

步骤 1	过滤器停止工作
步骤 2	降低滤器内水位到高于滤料层约 10 cm
步骤 3	空气以 0. 015～0. 025 m^3/ (m^2·s)的量冲洗 3～10 min
步骤 4	反冲洗水以 1. 4～3. 4 L/ (m^2·s)的流量冲洗至大约到水槽的 25 cm 高
步骤 5	停止空气供应
步骤 6	继续正常的水反冲循环并清洗和分级滤料
步骤 7	过滤器恢复工作

5.11.5 碳吸附(Carbon Adsorption)

经过在饮用水工业中长期和成功的应用之后,碳吸附在废水处理领域也得到普遍应用。这种系统是利用特殊碳来吸附并去除液相中的特殊污染物。目前,主要用于二级处理,大部分都用颗粒活性炭而不是粉末活性炭。

1. 吸附

某一物质被吸收并附着于一固体表面的过程被称为吸附。在本文中所讨论被去除的物质是废水中的低浓度有机物,而吸附固体为活性炭。之所以使用活性炭是因为其多孔结构使单位体积活性炭的表面积较大。在系统设计过程中需进行实验室研究,有时也需进行中试研究。

在选择和设计碳处理系统时最重要的变数是接触时间和碳耗竭。接触时间尤为重要,必须有充分的时间使污染物与碳外表面相互作用并进入其内部与内部的孔表面发生作用。

例如,固定床中有机污染物的吸附,颗粒碳接触反应是一个非稳态过程,大量废水流过固定床,其中污染组分被去除。快速吸附发生在废水流经上层碳的时候,吸附的量与流入废水的浓度形成平衡。吸附区也就是与进水形成平衡的区域,随

图 5.95 固定床吸附和穿透

着废水不断流入而向下移动。这在图 5. 95 中说明。

当吸附区到达床底部,浓度开始明显上升。当出水浓度达到预定的最大值,即认为污染物已穿透。穿透定义为最大允许浓度出现在出水之前的通过床体的废水流量。到穿透的时间随碳的厚度增加而增加,随着有效碳粒径的减少、流量和进水浓度的降低而增加。穿透曲线可用来确定碳再生的频率和速度。

2　再生

当碳的吸附容量耗尽时,就必须重新装填。在较大的厂子里,可以通过原位再生装置来完成。在小型工厂中,这些碳或者被废弃或通过非原位多用途装置进行再生。

热再生系统常用于废水处理厂,通常含有多床层加热炉。也可采用不同类型的炉或旋转窑。其他系统组成包括用于装用过的或再生碳的分持罐、脱水装置、冷却池以及空气污染控制装置(见图 5. 96)。

图 5. 96　碳的热再生系统

碳的热再生系统典型设计参数见表 5. 105。加热过程包括以下步骤:

①在 100～150℃进行干燥。

②在 150～315℃使低相对分子质量有机物挥发。

③在 315～815℃使高相对分子质量有机物热解。

④在 925～1040℃去除杂物、恢复活性并使碳孔中的物质气化。

表 5.105 加热碳再生设计数据

参数	典型值
多床层加热炉负荷	55～75 kg/(m³·h)
残留时间	30min
天然气燃料	0.19～0.34 m³/(kg·℃)
蒸汽	1～3 kg/(kg·℃)
能量需求	
碳	7435 kJ/(kg·℃)
蒸汽	2900 kJ/(kg·℃)
热损失	15%
碳损失	5%～10%

再生碳与原生碳有不同的特性,部分是由于通过热解步骤加大了碳孔大小。

3. 颗粒活性炭

在废水处理中,炭吸附系统大部分是使用颗粒活性炭(GAC)。碳可以从很多途径获得,颗粒大小通常为 8 目×30 目和 12 目×40 目。

颗粒活性炭系统的主要组成部分是接触(反应)室,活性炭床就位于其中。另外两个主要组成部分是碳再生系统和碳储存转移系统,以及可选配的泵设施和床反冲洗,这些组成部分的相互作用见图 5.97。含有再生系统的下流式固定床系统流动过程图见图 5.98。

吸附接触室的设计主要基于流速、水力负荷、高度要求以及接触时间。接触时间决定了体积、横截面积和高度。典型的接触室类型是圆柱体形、钢结构、上部开口的重力或封闭的压力系统,也可是矩形混凝土结构,通过重力加料。根据几何学要求和接触室类型可以决定平行或串联接触室的数目。

(1)运行模式

GAC 系统的基本类型是固定床和移动床。流动方向可能是往下或往上通过柱体。下流单元通过重力或压力起作用,而上流单元则采用压力系统。除了特殊情况,一般都使用多床式或多接触室。

典型的 GAC 接触反应器结构包括串联或平行的:下流式——固定床;上流

图 5.97　颗粒活性炭工艺框图

式——膨化床。这些系统见图 5.99。

采用串联固定床,使得碳的利用更有效率。床中碳的吸附容量可以在再生前被完全耗尽,出水水质可以通过后续床得到保证。如果出水的混合可以接受,这种情况可以通过平行床来实现。需要注意的是平行床启动要错开,以满足一个床接着一个床的再生而不降低出水水质。工厂中使用平行床时喜欢较大的总流量。下流单元被当作悬浮固体滤池,当负荷很大时需要周期性的回流冲洗。

上流膨化床比下流床有更高的悬浮固体负荷,但其出水中悬浮固体浓度可能会超标,需要在后续处理或排放前进行过滤。上流移动床可以很充分的使用碳,因为完全饱和的碳可以从床的底部撤去,而新的碳可以从顶部加入。

(2)设计考虑

吸附系统的设计基于进水和出水的特性。前者影响流动结构和设备大小的选择,在考虑运行的经济因素后可以决定何时由吸附转为再生,出水性质取决于处理目标和运行要求。设计时也应考虑碳的处理和储存的要求。

在经过必需的接触时间之后,根据碳的截面来决定一个合适的水力负荷。表层床流速应当被考虑,但选择水力负荷首要考虑的是水头损失。水头损失取决于流速、悬浮固体负荷、碳的大小和类型以及重力或压力流条件。典型的碳床水力负荷见图 5.100。

图 9-5 粒状活性炭工艺流程

对于下流床,回流冲洗是另一个需考虑的因素,固体积累的量和类型以及水头损失共同决定了回流冲洗的频率和水量。当然,一些特定情况下可以进行空气清洗和表面清洗。

回流冲洗的频率是变化的,从几个小时一次到每天一次,通常一天需要几次回流冲洗。典型的冲洗速度为 600～800 L/(m^2·min),持续 10～20 min。

4. 粉末活性炭

粉末活性炭在废水处理中用于去除可溶性有机物并帮助澄清废水。碳可以用干的或泥状的。为控制出水中的悬浮固体,需要进行混凝或对出水进行过滤以去除残留的碳颗粒。对增加的污泥处理容量也有一个要求。最后需指出,再生也可能不省钱。下面是一些粉末活性炭应用的例子:

①加到初沉池中以减少后续处理的 BOD 负荷和固体。

②加到活性污泥系统中以控制有机负荷。

图 5.99　颗粒活性炭的运行模式

图 5.100　颗粒活性炭系统的水力负荷

③加到二沉池中以实现高级处理。

在供水工业中进行了多年的成功运用之后,粉末活性炭作为一种可行的废水处理选择引起了越来越多的关注。

5.11.6 离子交换(Ion Exchange)

在一些工业排放的废水中,有的含有贵重的化学物质,这些化学物质可以通过回收进行重复使用。例如在电镀工业中,完全有能力回收金、银、镉以及其他金属进行再利用。也有必要去除废水中的痕量化学物质如铜、锌、羟基类化合物、氰化物以及铬酸盐。在这类处理中离子交换是一种经济上可行的方法。

离子交换不同于其他的废水处理方法,因为它是一个用其他离子来替代废水中特定离子的过程。无害的阳离子如 H^+ 可以替代有毒重金属(Cu^{2+},Cd^{2+} 等),无害的阴离子如 OH^- 可以替换有毒阴离子如羟基类化合物和氰化物。

1. 离子交换树脂

离子交换树脂是一种基本不溶的颗粒物质,其部分表面呈酸性或碱性,在与其接触的溶液中,在树脂表面,相同极性的离子进行交换,除了可能的体积增加外,这种交换没有任何物理变化。离子从树脂进入溶液,相同数目的离子从溶液进入树脂。因此,树脂交换的能力取决于树脂表面暴露的可交换离子量。暴露离子数目是同树脂颗粒的表面积成比例的。各种树脂中含有粒径范围很广各种种类的树脂颗粒。因此要决定离子交换树脂的容量,必须知道树脂的类型、大小、等级。

基本上有四种离子交换树脂。如图 5.101 所示,是用强酸还是弱酸型阳离子树脂,取决于所处理的废水,有可能需要两者之一或两者都需要。强酸对于去除类似于钙、镁、铁、镉、银、金、汞等重金属是有效的。弱酸型阳离子树脂对于分离简单和复杂的有机碱是有效的。强酸阳离子交换更常用于废水处理,弱酸阳离子交换在一些特殊的化学处理工作中更有用,例如分离碱基和抗生素。

如图 5.101 所示,也存在强碱阴离子树脂和弱碱阴离子树脂。对于一些特定废水的处理,需要两者其一或两者都需要来完成。强碱阴离子树脂以氢氧化物的形式存在,它通过使中性的盐转化为相对应的离子,然后使离子交换树脂转化成相对应的盐。强碱阴离子树脂可以除去所有无机酸,包括弱酸如硼酸和硅酸。弱碱阴离子树脂只可以去除强无机酸如盐酸、硫酸和硝酸并能允许弱无机酸如碳酸和硅酸通过。

一些工厂生产生出特殊的树脂用以去除特殊离子,这适用于无机和一些有机的阳离子和阴离子。

如图 5.102 所示,根据应用情况,强酸阳离子交换树脂或弱酸阳离子交换树脂可能都需要,或者单一的强碱或弱碱阴离子交换树脂是适用的。如果既要去除阳离子又要去除阴离子,那么有必要在阳离子交换树脂之后,接一个阴离子交换树脂。图 5.102 是一个简单的流程图。其他组合列举如下:

强酸/ 弱碱(二节单元)

图 5.101　离子交换系统框图

图 5.102　多床离子交换系统示意图

强酸/ 强碱(二节单元)

弱酸/ 弱碱(二节单元)

强酸/ 弱酸/ 弱碱或强碱或两者(三或四节单元)

强酸/ 弱碱或强碱(三节单元)

阳离子和阴离子交换床,当结合成一个单一系统时,称为复合床单元。常常两种树脂(阳离子树脂和阴离子树脂)混合在同一个处理池内,形成称之为混合床单元的去矿物质系统。如果需要超纯水,那么在复合单元后再安装混合床单元。

2 再生

离子交换是用一个离子代替另一个离子。再生就是这一过程的逆过程。再生通过在阳离子单元中加入浓缩的酸溶液。经过一定时间后,排出所有收集的废阳离子。在阴离子单元中也进行相似的操作,所不同的是用强碱来代替强酸。如果阳离子或阴离子已得到恢复,那么从这些特殊单元中得到的回收废弃物可以排回处理池中或排入独立的单元,在回用之前进行特殊处理。如果再生废弃物不进行回用,那么要求对浓缩的废弃物进行规定的处理和处置。

3 运行模式

通常有分批式或圆柱式和移动床等几种运行模式。模式的选择首先是基于去除的离子和间歇或连续流量。

(1)分批式运行

分批式处理是将交换树脂与废水放入池内混合,使它们建立平衡,然后对被处理的废水进行过滤,而树脂则准备下一次循环。这一工序的效率取决于离子交换树脂在平衡时的选择性,通常只利用了树脂容量的一部分,而且树脂的分批再生回用也不太实际。

(2)圆柱式运行

圆柱式运行可以看成是大量分批式运行的串联。废水流过装有离子交换树脂的垂直的圆柱,水流可以往下或往上流过树脂。大部分固定床使用下流式。此外离子交换柱也可以采用逆流式流动和再生。

(3)移动床运行

移动床或连续逆流式离子交换系统是离子交换工艺的另一种改进型。这一系统设计成可以进行连续处理并有树脂再生系统,它将再生的树脂送回处理系统。这一系统可以消除用于再生的长时间等待。这一系统还有另一个优点,就是可以保持出水水质的稳定。当颗粒介质上的交换点达到饱和交换点,一个普通多床去矿物质系统将开始排放不“需要”的离子进入出水,出水水质会逐渐下降,因此要用一个电导计来监测水质的下降。

4. 设计考虑

在实际情况下,所使用的系统完全取决于要去除的阳离子或阴离子的类型、所要达到的纯化程度、去除组分的浓度,以及也要去除的废水中存在的其他离子或起阻碍作用的组分,因此,在任何详细的系统设计之前,有必要在实验室完整地分析废水的组成。

实验室试验可以用来得出各种运行曲线,例如图 5.103 所示,它表示了圆柱式运行的活性交换和再生循环。低流量时曲线斜率比高流量时大。

图 5.103　离子交换运行曲线

在一个体积的出水经过柱体期间离子交换区从树脂床下降相当于其高度的距离。需要指出的是穿透点出现在耗尽循环的终点与再生循环的起始。

运行条件下废水的 pH 和温度对设计很重要,一些普通的离子交换树脂在温度升高时会溶解,另外一些树脂对特定的 pH 范围很敏感。没有离子交换设备被设计用于处理悬浮固体,因为这些物质会很快阻塞设备并降低流速。一些含油的有机物会覆盖树脂并阻止离子交换的发生。各种离子交换树脂生产厂家过去的经验有助于我们决定设备的大小,并针对特殊的废水选择最经济的树脂。

在废水处理工艺的设计中,在对可能使用的离子交换进行评估时要考虑一些因素(见表 5.106)。在此基础上,可以估计每年的总费用并与其他处理方法进行比较。

表 5.106 离子交换工艺选择评价

1. 交换是否允许所处理化学品的还原和重复使用？

2. 是否可能只去除我们不期望的废物组分，这种组分使其不能在其他单元中被处理，例如一个市镇废水处理工厂？

3. 是否有其他方法可以进行相同的去除工作而且更经济？

4. 是否有方法处理或处置从离子交换单元中周期性去除的浓缩的再生废弃物？

5. 是否将处理和购买再生化学物质的费用纳入处理费用评价？

6. 是否将处理和处置再生废物的费用纳入工艺费用评价？

7. 对于已选定的树脂，其每年添加和替换的费用是多少（实际使用寿命随着树脂的选择和废水特性有很大变化）？

8. 使用一种离子交换工艺，其必需设施的估计费用是多少？

在选择必需的装备时，有一些因素（如表 5.107 所示）需要考虑。含有控制器、阀、泵、化学投加系统的典型离子交换系统如图 5.104 所示。对于连续运行需要两套设备。

含有再生系统的典型柱式系统的设计标准见表 5.108。

表 5.107 离子交换设备选择评价

1. 对于要去除的废弃组分，运行单元的最佳次序组合是什么？

2. 对于要去除的废弃组分，使用哪种类型的树脂最佳？

3. 基于可能的劳动成本的节约，应该选择手工再生还是自动再生？

4. 是否需要在离子交换塔之前安装足够容积的储存池以满足数小时的再生停工需要，或是否需要两个独立的离子交换塔？能否在非生产时间在工厂进行离子交换塔的再生？

5. 在交换塔的阳离子和阴离子交换单元中树脂的大小和种类能否平衡使得同时再生时更经济（强酸阳离子交换树脂的吸附容量是强碱阴离子交换树脂的两倍）？

6. 在离子交换单元的空间需求方面，是否考虑了所有控制阀、管、化学品添加泵、化学品储存池以及运储再生化学品的通道？

7. 是否对离子交换单元中化学物质的泄漏有准备？

8. 有关操作单元的控制盘位于何处？

9. 收集再生废物的池是否足够大？

10. 是否为离子交换树脂塔、化学储存池、管道阀门、泵、控制器、收集池选择了合适的材料？

11. 是否可以从装备中拆下任何一个部分而不会拆散其他设备？

12. 是否所有设备都有标签、阀门编号、管道码、泵编号，是否与工厂操作和维护说明一致？

图 5.104　单系列阳离子-阴离子交换装置

表 5.108　去除氨的离子交换设计标准

离子交换运行	
斜发沸石介质,20×50 目	
床高	= 1.2～1.8 m
废水悬浮固体	= 35 mg/L(最大)
废水负荷比率	= 每小时 7.5～20 个床体积
压力降	= 21 cm 水柱/m
循环时间	= 对于 1.8 m 的床是 100～150 个床体积
	= 对两个串联的 1.8 m 床是 200～250 个床体积
再生	
溶液	= 2% NaCl
溶液流量	= 每小时 4～10 个床体积
	= 163～326 L/(m^2·min)
总溶液体积	= 10 个床体积
	= 2.5%～5% 的处理废水体积
循环时间	= 1～3 h
反洗	= 326 L/(m^2·min)

5.11.7　反渗透(Reverse Osmosis)

在目前的将含盐废水或海水处理作饮用水的技术中,反渗透最具商业应用价

值。这一工艺就是将水中的溶解固体浓缩到一个更小的体积中,进行分离处理或处置。

反渗透技术还有很多其他应用,例如处理污水或污水回用,它最实际的应用就是作为浓缩过程用于工业水污染控制。应用包括缩小液体体积、副产品回收、工艺用水循环或回用以及污染物浓缩。

反渗透设计时需考虑:

①给水特征,特别是总溶解固体。

②对水处理的质量要求。

③一些颗粒和胶体物质的存在可能阻塞膜表面。

④膜的类型和结构。

⑤运行条件(典型)

压力 2755～3450 kN/ m^2

温度 12～24℃

pH 6～8

⑥单一或复合储存系统。

⑦与其他方法相比时该系统在经济上是否有优势。

目前,最后一条也就是费用,明显地限制了废水处理中反渗透的应用。

参考文献

崔玉川等.1994.废水处理工艺设计计算.上海:水利电力出版社

冯生华.2001.城市中小型污水处理厂的建设与管理.北京:化学工业出版社

高廷耀.1999.水污染控制工程.北京:高等教育出版社

顾夏声等.1990.水处理工程.北京:清华大学出版社

贺延龄.1998.废水的厌氧生物处理.北京:中国轻工业出版社

孟祥和,胡国飞.2000.重金属废水处理.北京:化学工业出版社

钱易,米祥友.1993.现代废水处理新技术.北京:中国科学技术出版社

上海市环境保护局.1999.废水物化处理.上海:同济大学出版社

沈阳化工研究院环保室.2000.农药废水处理.北京:化学工业出版社

中国化工防治污染技术协会.2000.化工废水处理技术.北京:化学工业出版社

Allan D Holiday. 1982. Conserving and Reusing Water. Chemical Engineering, 4:118～137

Chanlett E T. 1979. Environmental Protection (2nd ed.). New York: McGraw-Hill

Dyer J C, Vernick A S, Feiler H D. 1981. Handbook of Industrial Wastes Pretreatment. New York: Garland STPM Press

Lippman M, Schlesinger R B. 1979. Chemical Contamination in the Human Environment. London: Oxford University Press

Metcalf Eddy Inc. 1979. Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse (2nd ed.). New York: McGraw-Hill

Moncrieff R W. 1967. The Chemical Series (3rd ed.). London: Leonard Hill

Pruett James M. 1976. Using Statistical Analysis for Engineering Decisions. Plant Eng., 5: 155～157

Robert A Corbitt. 1998. Standard Handbook of Environmental Engineering (2nd ed.). New York: McGraw-Hill Handbooks

The American Public Health Association, The American Water Works Association, The Water Pollution Control Federation. 1980. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (15th ed.). Washington, D.C.: APHA

U.S. Department of the Interior. 1970. Methods for Collection and Analysis of Water Samples for Dissolved Minerals and Gases, Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey, Book 5, Chapter Al

U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. 1980. Research Summary-Industrial Wastewater. EPA-600/8-80-026. Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Program Operations. 1977. Federal Guidelines-State and Local Pretreatment Programs. EPA-43019-76-017c. Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency, Methods Development and Quality Assurance Research Laboratory, National Environmental Research Center. 1974. Manual of Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. Cincinnati, Ohio

U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Environmental Monitoring and Support Laboratory. 1982. Handbook for Sampling and Sample Preservation of Water and Wastewater. EPA-600/4-82-029. Cincinnati, Ohio

U.S. Environmental Protection Agency. 1974. Guidance for Sewer System Evaluation. Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency. 1979. Chemical Aids Manual for Wastewater Treatment Facilities. EPA 430/9-79-018, MO-25. Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency. 1977. Wastewater Treatment Facilities for Sewered Small Communities. EPA 625/1-77-009. Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency. 1977. Process Control Manual for Aerobic Biological Wastewater Treatment Facililies. EPA 111-A-524-77. Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency. 1978. Upgrading Trickling Filters. EPA 430/9-78-004. Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency, Center for Environmental Research Information. 1984. Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater Supplement on Rapid Infiltration and Overland Flow. EPA 625/1-81-013a. Cincinnati, Ohio

第六章　水的回用

第一节　水的回用与废水资源化
(Water Recycle and Wastewater Resource Use)

6.1.1　水的回用与废水资源化的意义 (The Meaning of Water Recycle and Waste Water Resource Use)

地球上水的总量很大,但大多为不可直接使用的海水,可供直接使用的淡水资源十分有限。因此,研究和开发水的回用技术,实现废水资源化对保持人类社会的可持续发展有着重要的现实意义。

人类进入工业化社会之后,工业、农业生产得到了迅速发展,人口不断增长,人们的生活水平不断提高,从而对水(特别是淡水)的需求量急剧增加,造成了世界上许多国家和地区出现了水资源短缺的状况。以我国为例,水资源总量排在世界前列,但因人口众多,以人均水资源占有量计算,则是一个水资源严重缺乏的国家。20 世纪 70 年代以来,我国的科技进步,促使工、农业生产有了突飞猛进的发展,同时,由于过度开采地下水,使许多地区出现了地下水位急剧下降,地面水源干枯的现象,加之对水源的人为污染,造成了水资源的严重短缺,在一些地方,有时连居民的饮用水供应都无法保证。有人预言,本世纪人类面临的最为严峻的问题是水资源短缺,人们将为水而“战”。

上世纪中叶以来,世界工、农业经济的迅速发展,使水环境污染与水资源紧张的矛盾突出显现出来。水“荒”的出现,使人们逐渐清醒地认识到了控制水污染、实现水的回用与废水资源化的意义。为解决水资源短缺的问题,许多国家的政府正在投入大量的人力、物力和财力,进行污水再生与回用技术的开发,将污水视为第二水源,同时,也在制订水的回用与废水资源化的法律、法规。这将为人类度过水“荒”,实现社会、经济的可持续发展提供有利支持。

6.1.2　水的回用途径(Way of Water Recycle)

受污染程度较轻的工业废水和城市污水可作为回用水水源。经处理后水的回用途径主要取决于回用水使用者对水质的要求及考虑到技术和经济因素后可达到的处理水平。目前,主要的回用途径包括:

(1)回用于工业

工业用水主要包括工艺生产用水和冷却用水两部分。工艺生产用水往往对水质有不同的要求,生产实践中可采用分级、分质、循环套用等方法,提高水的使用率。冷却水用水量大,则可通过建立循环冷却系统,提高水的循环使用率。

(2)回用于农业

工业废水和生活污水直接或经适当处理回用于农业是人们目前普遍采用且较为经济的污废水回用途径之一。回用方式包括灌溉、快速渗滤、地表漫流等。农业生产用水量大,采用这一途径既回用了大量的污废水,同时又借助于土壤与作物的天然净化作用,对水中的某些污染物质进行了处理。为防止回用水中污染物对土壤、作物及地下水造成污染,许多国家制定了相应的农业灌溉用水标准。

(3)回用于城市

污废水经过适当处理后,可直接作为城市绿化、道路喷洒、消防、汽车清洗、娱乐与景观水体补给等的用水。作为城市饮用水水源时,虽然通过采用现有技术的处理,出水可达到饮用水标准,但由于公众在心理上尚难以接受,所以,这一回用途径的推广受到限制。

6.1.3　污水回用的制约因素 (Inhibiting Factors of Wastewater Recycle)

(1)水质

水质包括可作为回用水水源的水质和回用目标的水质。前者决定着污废水从技术、经济的角度是否可作为回用水水源,后者影响着使用者的安全和健康。因此,两个水质指标确定之后,必须采用与两水质指标相适应的处理方法进行处理。

(2)处理费用

处理费用也是制约污水回用的因素。处理费用与采用的处理方法和所要达到的处理水平有关。不同的地区,不同的自然条件和社会经济条件,影响着水的回用要求、回用目的与处理水平。

第二节　城市污水回收技术
(Recoverable Technology of Urban Household Sewage)

6.2.1　中水回用技术(Reuse Technology of Regenerative Urban Household Sewage)

1. 中水

不同场合,人们对中水有不同的解释。工业生产中称中水为循环水或回用水,城市污水处理工程中称中水为再生水。它以水质作为与其他废水相区分的标志,通常指城市污水或生活污水经处理后达到一定的水质标准 ,可在一定范围内重复使用的非饮用杂用水,其水质介于生活饮用水水质和允许排放污水水质标准之间。

2. 中水水质

中水是水质好于排放污水的低质水,直接回用将给人们的健康和环境带来不利的影响。因此,回用前必须根据水质状况,采取必要的处理方法对其进行处理,使其达到回用目标的水质要求。目前,中水在更广泛领域使用的技术尚处于研究和开发之中,故无法提出统一的中水回用水质标准,人们只能依据中水回用的目的,给出相应的水质要求或制订出相应的水质标准。

3. 中水回用方式

(1)独立建筑物回用方式

对于诸如宾馆、饭店、写字楼、百货商场等大型独立建筑物,可以设置单独的中水处理装置,专门处理该建筑物产生的污水。处理后的污水再回到该建筑物的中水道中。回用流程如图 6.1 所示。

图 6.1 独立建筑物中水回用系统

(2)小区回用方式

小区是指一定区域内,含有多幢建筑物,人们集中在此工作、学习和生活的地方,如城市住宅小区、集中办公的机关大院、各类学校等。小区回用方式就是对小区内各建筑物产生的污水进行收集,经再生处理后,再回用于该小区内的中水道系统。回用系统流程如图 6.2 所示。

图 6.2 小区中水回用系统

(3)区域性回用方式

区域性回用方式是指将城市污水处理厂处理后的水,回用于某区域内的中水道系统中。由于回用的区域更广,回用的途径更多,因而回用管网系统更加复杂。回用系统流程如图 6.3 所示。

图 6.3　区域性中水回用系统

4. 处理方式

污水的水质和回用水的水质要求是选择将城市污水或生活污水处理成中水方法的主要依据。按处理原理可分为物理法、化学法和生化法。常用的处理方法包括:过滤、混凝沉降、气浮、生化脱氮除磷、臭氧氧化、吸附等。上述方法可以单独使用,也可以组合使用。

我国推荐的水处理工艺流程主要有以下几种:

①当以优质杂排水和杂排水作为中水水源时,可采用以物化处理为主要工艺流程,或采用生物处理和物化处理的工艺流程(如图 6.4a,b)。

图 6.4a　中水物化处理工艺流程图

6.4b　中水生化处理工艺流程图

②当利用生活污水作为中水水源时,可采用二段生物处理,或生物处理与物化处理相结合的处理工艺流程(如图 6.5a,b)。

图 6.5a 中水二段生物处理工艺流程图

图 6.5b 中水生化、物化处理工艺流程图

③利用建筑小区水处理站二级处理出水作为中水水源时,应选用物化处理(或三级处理)工艺流程(如图 6.6)。

图 6.6 中水深度物化处理工艺流程图

6.2.2 废水脱氮处理 (Removing of Nitrogen-containing Compound)

世界上一些较早进入工业化的国家,由于工农业生产的迅猛发展和人民生活水平的不断提高,工业废水和城市污水排放量日益增大,排放的污染物种类日趋增多,产生了严重的环境污染问题。早在 20 世纪 60 年代,许多国家开发兴建了大批污水处理厂,通过常规的二级生化处理工艺对污废水进行处理,收到了明显的效果。但是,二级生化处理通常只能解决易被微生物所利用的含碳有机物的污染问题,而对给水体带来富营养化等环境问题的含氮、磷化合物的去除,效果并不十分明显。随着氮、磷化合物对环境污染的问题日益突出,人们对除氮、除磷技术的研究和开发也给予了广泛的重视,提出了生物法、吸附法、吹脱法、折点氯化法、离子交换法等处理方法。其中,生化法因处理效果好,处理成本低而得到广泛采用。

1. 废水中氮的来源及影响

废水中,氮以有机态氮、氨态氮、硝态氮和亚硝态氮的形式存在。其中,有机态氮和氨态氮是主要存在形式。水体中氮的来源包括城市生活污水、农牧业生产排放污水和某些工业生产废水(如钢铁、化肥、无机化工、石油化工、食品及肉类加工、饲料加工等)。含氮化合物对水体的危害包括:

①使水体营养物质过剩,导致藻类等浮游生物的大量繁殖,水面出现"水华"或"赤潮"现象。水生生物大量死亡,水质下降。

②对人体的毒害作用。如水体中的硝酸盐可引起婴儿高血红蛋白症;亚硝酸盐有致癌作用。

③作为水源水时,增加水厂的处理成本。

2. 生物脱氮

众所周知,氮是水体中微生物生长繁殖所需的重要元素之一。通过同化作用,水体中的氮与碳、磷一起合成微生物的细胞物质,并以剩余污泥的形式得以去除。但与含碳有机化合物相比,氮的去除量相对较小。因此,对于水体中存在的大量含氮化合物,需采取特殊的生物脱氮方法进行处理。目前,通常采用的方法是硝化和反硝化。即在好氧生化处理过程中,中性或碱性环境下,利用水体中存在的自养型硝化菌的好氧呼吸,使水中的氨氮经硝化作用转化为硝态氮,该过程称为硝化。自养型菌从硝化反应中获得能量,硝化过程如(6.1)所示。

$$NH_4^+ + \frac{3}{2}O_2 \xrightarrow{\text{亚硝化菌}} NO_2^- + 2H^+ + H_2O \tag{6.1}$$

$$NO_2^- + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{\text{硝化菌}} NO_3^- \tag{6.2}$$

总能量反应为

$$NH_4^+ + 2O_2 \longrightarrow NO_3^- + 2H^+ + H_2O \tag{6.3}$$

硝化过程中,硝化菌在获得能量的同时,部分 NH_4^+ 被同化为细胞组织,其合成反应为

$$4CO_2 + HCO_3^- + NH_4^+ + H_2O \longrightarrow C_5H_7NO_2 + 5O_2 \tag{6.4}$$

综合实验与理论计算的结果,可得到硝化反应综合反应方程式

$$22NH_4^+ + 37O_2 + 4CO_2 + HCO_3^- \longrightarrow C_5H_7NO_2 + 21NO_3^- + 20H_2O + 42H^+ \tag{6.5}$$

硝化过程完成之后,水体中的氨氮转化为硝态氮,氮的形式发生了变化,但并未从水体中脱除。欲最终脱氮,还必须进一步将硝态氮转化为对人体无害的分子氮(N_2),并使其逸出进入大气,从而达到彻底脱氮的目的,这一转化过程通常称为

反硝化。

在反硝化过程中,硝态氮通过反硝化菌的代谢活动可由两种途径实现。一种途径是经同化反硝化(合成代谢),将硝态氮还原为有机氮化合物,并合成细胞物质,成为菌体的一部分;另一种途径为经异化反硝化(分解代谢),将硝态氮最终还原成氮气。反硝化菌是一种兼性异养型菌(主要为假单孢菌属细球菌属,杆菌与孢芽菌属),因此,反硝化过程必须在厌氧或亏氧,且水中含有充足电子供体的条件下完成。电子供体包括与氧结合的氢源和异养菌需要的碳源。当水体本身含有足够的可生物降解有机物时,可以作为自源电子供体,不必额外投加碳源,这是一种经济和理想的碳源。若水体中此类有机物含量不足,则必须额外投加有机碳源,称为外源电子供体。目前常用甲醇作为外加碳源,因为甲醇氧化分解后的产物是不对环境产生影响的二氧化碳和水,且能得到最大的反硝化速率。与好氧菌以氧作为电子受体进行好氧呼吸不同,反硝化菌以硝态氮作为电子受体进行厌氧呼吸,释放的 ATP 少,相应合成的细胞物质亦少。由此可见,在生物反硝化过程中,以异化反硝化作用为主。反硝化过程按下述两个步骤完成

$$6NO_3^- + 2CH_3OH \xrightarrow{\text{厌氧菌}} 6NO_2^- + 2CO_2 + 4H_2O \tag{6.6}$$

$$6NO_2^- + 3CH_3OH \xrightarrow{\text{厌氧菌}} 3N_2 + 3CO_2 + 3H_2O + 6OH^- \tag{6.7}$$

总能量反应

$$6NO_3^- + 5CH_3OH \longrightarrow 5CO_2 + 3N_2 + 7H_2O + 6OH^- \tag{6.8}$$

由此可见,生物脱氮是通过微生物硝化、反硝化代谢活动去除水体中含氮污染物的一种生物转化法。因其除氮彻底,效果好,成本低,转化的最终产物为对人体无害的氮气,因此在目前的废水深度脱氮处理中,是被广泛采用的方法之一。

3. 空气吹脱法脱氮

空气吹脱法脱氮是一个传质过程,是由曝气法去除水中溶解性气体工艺演变而来。该方法通常用于含氨氮废水的脱氮处理。NH_4^+ 与 NH_3 在水中存在如下平衡关系

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^- \tag{6.9}$$

上述平衡关系受水的 pH 影响。当 pH 大于 7 时,随着 pH 的上升,(6.9)式的平衡向左移动,水中 NH_3 分子占优势,由于 NH_3 在水中易于挥发,故此时有利于空气吹脱。空气吹脱一般在填料塔中完成,废水与空气逆流接触从而降低废水中氨的浓度。在这一传质过程中,传质推动力是空气中氨的分压和废水中与氨浓度相当的平衡分压之间的差值。废水的 pH、温度、气水比、气水接触时间等对吹脱效率有显著影响。

4. 折点氯化法脱氮

向水中通入氯气时,水中的余氯以化合性余氯和游离性余氯两种形态存在。开始通入氯气时,氯与氨化合,生成氯胺,水中的余氯完全是化合性余氯,余氯量随通氯量的增加而增大。继续通氯,使氯与氨的比例达到某一值时,水中的余氯量不再增加,反而下降,并出现一个最低点,之后,随着氯气的通入,余氯量又开始增加,且增加的余氯为游离性余氯。这个最低点我们称为折点。在折点处,氯与水中的氨发生氧化还原反应,将水中的氨氧化为氮(N_2)。

$$Cl_2 + H_2O \rightleftharpoons HClO + H^+ + Cl^- \tag{6.10}$$

$$2NH_3 + 3HClO \longrightarrow N_2 + 3H_2O + 3HCl \tag{6.11}$$

该状态下的氯化称为折点氯化,利用折点氯氧化进行脱氮的方法称为折点氯化脱氮法。脱氮时,理论上氯与氮的比值为 7.6∶1,实际应用时,因为有部分氯胺被氧化,故该比值宜控制在 8∶1。影响脱氮效率的因素包括温度、pH、氨氮浓度等。这种脱氮工艺可单独用于含氨工业废水的脱氮处理,也可与其他工艺联合,用于城市污水的深度脱氮处理。

6.2.3　废水中磷的处理技术(The Treatment Technology of Phosphorus in Wastewater)

1. 磷的来源、形式与去除方法

磷与氮一样,被认为是刺激水生植物生长和导致富营养化的主要根源。磷的来源包括:

①农业排水。含磷农药和化肥的使用,使土壤中积累了相当数量的营养物质,它们随农业排水或雨水地表径流流入水体。另外,饲养家畜所产生的废物中也含有相当高浓度的含磷营养物质,这些物质有可能通过排水系统进入水体。

②城市生活污水。人体排泄物、食物残屑和合成洗涤剂是城市生活污水中磷的主要来源。尤其是合成洗涤剂,对城市生活污水中磷的贡献率近 50%。

废水中,磷通常以正磷酸盐、聚合磷酸盐和有机磷等三种形式存在;后两种形式的磷经过水解或生物降解,最后都会转化为正磷酸盐。正磷酸盐在 pH 接近中性的水中呈溶解状态,以 HPO_4^{2-} 的形式存在。这种形式的磷易于用化学沉淀法通过形成难溶的金属磷酸盐而予以去除。

2. 生物脱磷机理 A/O(好氧/厌氧)

A/O 法是由美国、南非等国家最早开发的具有一定除磷效果的生化处理系统。处理过程中,废水交替通过厌氧和好氧阶段,借助微生物对含磷化合物的吸收,达到除磷的目的。除磷机理如下:在厌氧阶段,有好氧段的回流污泥加入,回流

污泥中的好氧微生物因缺氧而处于“压抑”状态,此时,微生物释放出储藏在其体内的多聚正磷酸盐,并同时放出能量,以满足微生物生命活动的需要。进入好氧阶段后,好氧微生物大量吸收水中溶解性磷酸,并在体内将其转化为不溶性的多聚正磷酸盐储存起来。这样,系统中活性污泥经过厌氧、好氧相交替的系统后,排放的剩余污泥与普通活性污泥法相比,磷酸盐含量大为提高,因此,具有一定的除磷效果。

3. 化学除磷机理及影响因素

化学除磷是借助于磷酸盐可与多种阳离子化合,生成溶度积很小的不溶性沉淀物的原理,使磷有效地从水溶液中沉淀出来而加以去除的方法。实际应用中,应本着易得、有效、价格低廉的原则选用阳离子化合物。目前常用的是含铝、铁或钙的化合物。它们不仅能与磷酸盐反应生成不溶性化合物,而且能促进不溶性化合物的絮凝沉降。化学沉淀法除磷的效果通常取决于以下四种因素:水中磷的初始浓度;沉淀用阳离子化合物加入量;与磷竞争产生沉淀的其他阴离子浓度;废水的pH。

4. 组合型除磷工艺

组合除磷工艺是指采用化学法和生化法相结合的除磷处理工艺,从而达到深度除磷的目的。化学法除磷用于去除水中大多数以磷酸盐形式存在的磷,而后,通过 A/O 法等生化处理工艺,使含磷化合物在二沉池中以富磷剩余污泥的形式加以去除。

第三节 工业冷却水的循环与水质稳定
(The Recycle of Industrial Cooling Water and the Stability of Water Quality)

6.3.1 工业冷却水循环系统(The Recycle System of Industrial Cooling Water)

1. 冷却系统的类型

工业生产过程中,需用冷却剂(空气或水)进行冷却降温的设备很多,冷却剂的用量也很大。冷却剂与被冷却物质在热交换设备中以间接换热的形式进行热能的传递。因水的热容很大,因此常被作为冷却剂。冷却过程中,传热推动力随着水温的升高而减小,传热速率和传热效率也随之降低。这时,被加热的水从热交换设备中排出。排水方式包括:

①进入江、河、湖、海等地面水域。

②进入封闭循环系统,在间接换热设备中,用冷流体(空气或水)进行冷却,冷却后再返回到需要冷却的设备中使用。

③进入冷却塔或敞开式储水池中,借助与大气的热量交换而冷却,然后再回到

设备中。

上述三种排水方式分别称为直流式冷却系统、封闭式循环冷却系统和敞开式循环冷却系统。

2. 直流式冷却系统

直流式冷却系统因直接将使用后的水排入周围的地面水源,易造成受纳水体的热污染,同时浪费了宝贵的水资源,增加了水的使用成本,因此,目前已很少使用。

3. 循环冷却系统

循环冷却系统包括敞开式循环冷却系统和封闭式循环冷却系统。系统中,通过直接或间接换热方式,对使用后的水进行降温处理,处理后循环使用,节约了水资源,提高了水的使用效率。但在系统的运行过程中,由于水的长期循环使用,易引起水中污染物浓度的增高,造成系统内设备和管道结垢堵塞或腐蚀,影响系统的正常运行。特别是在封闭式循环冷却系统中,设备和管道的污垢不易被发现,当出现结垢堵塞现象时,污垢的清除十分困难。严重时,因污垢无法清除而造成设备和管道报废。与之相比,敞开式循环系统要好得多,使用也最为普遍。

4. 敞开式循环冷却系统原理

敞开式循环冷却系统是使水与空气在冷却塔、冷却池等冷却构筑物中充分接触,通过接触传热,使被加热水降温冷却的过程。接触传热过程中,热量的传递以热传导和对流传递两种形式为主。传热量的大小取决于如下两个因素:水与空气的接触面积;高温介质水与低温介质空气之间的温差。

因此,为了提高传热效率,通常采取将被加热水分散成微小水滴或极薄水膜以及增大空气量或降低空气温度的方式强化传热过程。

敞开式循环冷却系统除借助接触传热使水降温之外,还会通过水的蒸发散热方式达到使水冷却降温的目的。水与空气接触时,与水面接触的空气处于饱和状态,其温度也与水的温度相同;远离水面的空气温度要低于水温。温度的不同带来实际蒸气压力的不同,形成了促使水分子蒸发的传质推动力——蒸气压差。水分子的蒸发要带走热量(汽化潜热),从而使水温降低。

5. 冷却构筑物的分类

工业生产中的冷却构筑物通常分为三类:冷却塔、喷淋冷却池和冷却池。

冷却塔根据通风方式的不同,可分为自然通风冷却塔、机械通风冷却塔和混合通风冷却塔三种形式。塔内装有喷淋装置,需冷却的水经过该装置以小水滴、水膜

或水滴水膜的形式从塔顶喷出,与人工或自然形成的空气接触,从而达到降低水温的目的。气流与水流的交汇方式有逆流式和横向流式两种。塔内可装填料,也可以是空塔。塔的主要构件包括:塔体、喷淋装置、配水系统、集水池、布气装置、风机和风筒等。

喷淋冷却池是在人工建造的水池上安装多组喷嘴,经泵等输送机械加压的水在喷嘴处以雾滴状喷出。水因喷射蒸发而降温。

冷却池是在天然池塘或人工开挖的水池中,通过水体表面的自然蒸发达到降低水温的目的。其优点是投资省,运行及维护费用低,处理水量大。但也存在冷却效率低、占地面积大等缺点。目前只在少数大型冷却系统中采用。

6.3.2 循环冷却水的水质稳定(The Stability of Water Quality of Recycle Cooling Water)

工业生产过程中,冷却水的用量很大。冷却水的循环使用,除了要解决降温问题之外,还需采取措施保持水质稳定。水质稳定的目的是防止冷却水循环使用过程中对设备和管道的腐蚀,同时防止水垢、污垢的沉积。

1. 水质变化产生的影响

水质变化会对冷却水循环系统的正常使用产生不利的影响,这种影响主要表现在以下几个方面:

(1)腐蚀设备及管道

循环水使用及输送设备多由金属材料(如碳钢)加工而成。使用过程中,会因化学作用和电化学作用引起化学腐蚀及电化学腐蚀。例如,当水温降低时,水中二氧化碳平衡浓度发生变化,使水失去稳定性而表现出腐蚀性。另外,当水中存在其他无机酸时,也会产生化学腐蚀。电化学腐蚀是由于金属材料的化学组分不同,当它们与含有电解质和溶解氧的水相接触时,因形成局部原电池而发生电化学腐蚀。腐蚀会使设备及管道材质耗损,严重时,引起设备及管道报废,影响循环冷却水系统的正常运行。

(2)水垢

水垢的主要成分为钙盐和镁盐,例如碳酸钙、碳酸镁等。以碳酸钙为例:在水质稳定的条件下,水中的碳酸钙与游离二氧化碳、重碳酸钙存在下列平衡关系:

$$Ca^{2+} + 2HCO_3^- \quad CaCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

当水与空气在冷却设备中接触或水温升高等情况出现时,上述平衡被破坏,二氧化碳从水中逸出,导致平衡向右移动,碳酸钙析出沉积而形成水垢。水垢的形成减小了设备和管道的过水断面,同时大大降低了设备的导热系数,传热效率下降。

(3)污垢

周围环境及向循环系统补水会给系统带来泥沙、其他无机悬浮物和溶解物、有机物及各种微生物,它们易与系统内积聚和生成的污染物一道,通过机械沉积作用而形成污垢。污垢的形成造成设备和管道传热效率下降,过水断面减小。

2. 影响循环水水质的因素

循环水产生水垢、污垢并引起设备和管道腐蚀的主要原因包括:

(1)外界物质进入引起水质污染

循环系统运行过程中,因蒸发、泄漏等原因,造成水量不断减少。为保持系统的正常运行,需不断补水。补充水的进入会带入各种污染物;此外,周围环境(如空气)中的污染物也会不断溶入水中,从而影响循环水水质。

(2)二氧化碳的逸出破坏了水质稳定平衡的条件

水质稳定时,水中碳酸钙、重碳酸钙和游离二氧化碳存在下列平衡关系:

$$Ca(HCO_3)_2 \quad CaCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O \tag{6.12}$$

水气接触时,水中二氧化碳逸出,水中原有的平衡被破坏,致使反应向右移动,产生 $CaCO_3$沉积而结垢。

(3)循环系统内生成新的污染物

循环系统长时间的运行及适宜的环境条件,为某些无机物、细菌和藻类的生成创造了条件。它们与外界进入的污染物一道,通过机械沉积而形成污垢。此外,还原菌可把水中硫酸盐还原为具有腐蚀性的硫化氢,导致金属材料的化学腐蚀。

(4)循环水的浓缩

循环系统中水的蒸发、设备和管道的跑、冒、滴、漏以及正常的生产排污将导致水量的损失。特别是蒸发过程,使系统水分减少,溶解性碳酸盐量增加。若长期运行而又不加以控制的话,则使系统发生盐的积累,导致循环水系统出现结垢、化学及电化学腐蚀现象。

(5)水温变化的影响

冷却水在循环系统中经历着不断升温和降温的往复过程。水温的变化对水质的稳定产生了不同的影响。水温升高,部分 CO_2逸出,提高了平衡 CO_2的需要量,造成水中 CO_2含量不足,水的稳定性被破坏,有水垢产生;水温降低,水中平衡 CO_2需要量也降低,当需要量低于水中实际 CO_2含量时,碳酸钙溶解,此时水中 CO_2具有腐蚀性。因此,水温的变化可在循环水系统的某一设备内同时产生腐蚀和水垢,例如冷却设备的冷水进口产生腐蚀,热水出口形成水垢。

3. 水垢的控制

防止水垢形成的方法主要包括:

①阻垢剂法。通过加入阻垢剂,提高循环水中容许的极限碳酸盐硬度,防止致

垢盐的结垢。常用的阻垢剂有聚磷酸盐、低相对分子质量聚羧酸类和有机磷酸盐等。

②酸化转化法。通过向循环水系统的补给水中加酸,将碳酸盐硬度转化为溶解度较大的非碳酸盐硬度,且使整个循环水系统的碳酸盐硬度降低到极限碳酸盐硬度以下。常用的酸为硫酸。

③补给水软化法。通过离子交换等方法,降低补给水的致硬阴、阳离子的浓度。

④碳化法。通过向循环水中通入烟道气等富含 CO_2的气体,提高水中 CO_2的浓度,抑制重碳酸钙的分解,从而提高循环水中容许的极限碳酸盐硬度,防止结垢。

4. 腐蚀的控制

循环水系统中的金属腐蚀通常是由化学作用、电化学作用和生物作用引起的。

化学作用引起化学腐蚀。循环水中无机酸的存在或水温降低时过量 CO_2的出现,是导致化学腐蚀的主要原因。

电化学作用引起电化学腐蚀。设备和管道的不同部位,因制造材料的化学组分不同而表现出不同的电极电位。当材料与含有电解质和溶解氧的循环水相接触时,就会形成原电池。电极电位高的部位是阴极,电极电位低的部位是阳极,金属腐蚀通常发生于此。

生物作用引起生物腐蚀。循环水系统的环境条件,为各种微生物的生长繁殖创造了条件。在微生物本身或其代谢产物的作用下,金属发生生物腐蚀。例如,缺氧条件下,硫酸盐还原菌可将水中硫酸盐还原为具有腐蚀性的 H_2S;藻类代谢产物之一溶解氧可强化金属腐蚀过程。

针对上述三种腐蚀类型,目前所采用的腐蚀控制方法主要是药剂法和微生物控制法。

①药剂法。该方法主要是通过向水中投加药剂(大多为缓蚀剂),药剂与金属发生物理或化学作用,并在金属表面形成一层致密保护膜,使金属本体与腐蚀性介质相隔离,从而达到防止金属腐蚀的目的。

②微生物控制法。该方法的主要目的是通过改变循环水系统的内、外部环境,抑制微生物的生长繁殖。通常采取的措施包括:向水中投加有效且对环境安全的杀生剂,杀灭各种生物体;加强对补给水的处理,控制进入循环水系统的污染物种类和数量;防止日光照射储水设施,抑制藻类生长繁殖。

第四节 废水土地处理系统
(Land Treatment System of Wastewater)

6.4.1 土地处理 (Land Treatment)

废水的土地处理是将经过二级处理之后的排放水淋洒到土壤上,在水的渗滤

过程中,借助土壤的物理过滤、化学反应和沉淀以及微生物的氧化分解作用,将废水中剩余污染物进一步去除的一种废水处理方法。废水经过一、二级处理之后,大部分污染物已被去除,但某些污染物(例如氮,磷等)的去除效率很低。这些污染物是土壤中各种农作物生长所需要的养分。土地处理方法不仅满足了农作物对水及氮、磷等养分的需要,增加了农作物的产量,而且去除了普通生化法难以除去的氮、磷污染物及其他难生物降的有机物,同时,还可通过土壤的过滤、物理吸附等物理过程和离子交换、化学吸附、络合反应等化学过程,进一步降低废水中悬浮物、金属离子、无机盐等的浓度,实现了废水处理与资源化的有机结合。该方法已在欧洲和北美地区普遍采用,操作简单,处理费用低,是受到广泛重视的废水深度处理方法之一。

6.4.2　土壤的作用(Function of Land)

土壤是指地球陆地表面的疏松表层。它由岩石经过长期风化而成的以硅酸盐化合物为主的矿物质、动植物残体腐烂分解而产生的有机物以及水分、空气等组成。因土壤本身具有肥力,可生长植物,因此,经过长期的农业耕作,形成了包括无机物、有机物、水、空气和各种微生物在内的完整生态系统。因此,土壤将借助于自身的生态系统对排入的废水中的各类污染物起到综合处理的效果。

1. 对污水中有机物的作用

土壤中繁衍着多种微生物。在近地表面的土壤表层,土质疏松,空气流通,为好氧微生物的生长繁殖创造了有利条件,该土壤表层称为好氧生物处理带。废水通过该地带时,水中胶体和溶解性有机物因过滤、吸附作用被截留,好氧微生物对其进行氧化降解,使其转化为易被植物吸收利用的小分子化合物。废水继续渗透,则进入有兼氧菌和厌氧菌生长繁殖的兼性和厌氧生物处理带。此时,土壤微生物会对可沉有机悬浮物进行分解。

2. 对污水中含氮、磷化合物的作用

废水中氮、磷化合物是植物生长的营养物质,大部分被植物的根系吸收。同时,部分含氮化合物通过好氧带硝化菌及兼氧带、厌氧带反硝化菌的硝化、反硝化作用,被还原为分子态氮(N_2),最终排入大气。含磷化合物则通过化学沉淀作用及土壤吸附作用被去除。

3. 对金属离子的作用

废水中的金属离子可通过以下几种途径得以去除:

①金属离子作为中心离子,与土壤中存在的某些组分生成络合物或螯合物。

②与某些物质反应,生成难溶化合物沉淀。

③可交换阳离子通过土壤的离子交换作用被土壤吸收。

④被农作物吸收利用。

6.4.3 植物的作用(Function of Plant)

土壤中生长着各种各样的植物。它通常由根、茎、叶、花、果实等部分组成。其中被称为植物命脉的根在废水的土地处理系统中,对水中污染物的处理起着重要的作用。

根系是一株植物所有根的总称,一般分为直根系和须根系。直根系有明显的主根,主根与侧根差别显著;须根系无主根和侧根之分,根的形状像胡须。通常,植物的根系比地面上的植株大 5～10 倍。它在废水的土地处理系统中所起作用包括:

①从土壤中吸收水分和植物生长所需的养分,包括废水中含有的氮、磷化合物、无机盐与有机营养物等,从而使污水得到净化。

②不断向周围土壤生长延展发达的根系,使表层土壤蓬松,土壤的渗透性、透气性增强,有利于废水的渗滤和好氧微生物的生长繁殖。

6.4.4 土地处理系统的类型(Type of Land Treatment System)

土地处理通常包括慢速渗滤、快速渗滤和地表漫流三种处理方式。实际采用过程中,要结合当地的具体情况,因地制宜进行选择。需考虑的因素有:土壤的种类和性质、地形、水文地质条件、水文气象条件、植物种类、废水水质及处理程度要求等。

1. 慢速渗滤

慢速渗滤系统是最适宜且目前被广泛采用的土地处理系统。该系统适用于气候湿润、水分蒸发量小、常年或一年中大部分时间有植物生长及土质疏松、土壤渗透性好的地区。处理场上种有植物,废水经布水装置均匀分配后,缓慢流入处理场土壤表层。废水一边流动,一边向下渗透。在渗透过程中,废水中的污染物不断通过土壤的过滤、植物根部的吸收和微生物的生物降解作用得以去除。

2. 快速渗滤

与慢速渗滤不同,快速渗滤土地处理系统主要是在具有高渗透性土壤(例如沙土)的处理场中,借助土壤的高透水性和过滤截留作用,对废水进行净化处理。处理过程中,废水以间歇布水方式排入处理场,并沿具有一定坡度的土壤表面流动,通过土壤渗入地下。因这种处理系统主要是借助土壤的物理截留作用去除废水中

的污染物,所以通常用于调节和控制地下水位。当经过过滤处理的水需要回用或对地下水水质产生影响时,可在处理场土壤中埋设集水管,设置集水池收集处理后的水并返回地面加以利用或进一步处理。

3. 地表漫流

地表漫流是将废水喷洒于长有植物、具有一定坡度的土壤表面,且呈水膜状沿地表流动。流动过程中,废水经土壤过滤、微生物生物降解等过程得到处理,少部分水在这一过程中蒸发。该处理方法适宜在透水性差的土壤中采用,因此,在处理场末端会有未完全渗入地下的地表径流。处理场设计时,需考虑该部分地表径流的收集设施及收集后的处理问题。

参考文献

陈复.2000.水处理技术及药剂大全.北京:中国石化出版社

陈湘筑.1999.环境工程.北京:教育科学出版社

胡名操.1990.环境保护实用数据手册.北京:机械工业出版社

化学名词审定委员会.1991.化学名词.北京:科学出版社

蒋展鹏.1992.环境工程学.北京:高等教育出版社

栗田工业水处理药剂手册编委会编.章振癀译.1991.水处理药剂手册.北京:中国石化出版社

刘天齐.2000.环境保护.北京:化学工业出版社

唐受印,汪大　等.1998.废水处理工程.北京:化学工业出版社

王宝贞.1990.水污染控制工程.北京:高等教育出版社

张希衡.1992.水污染控制工程.北京:冶金工业出版社

Johnson Barry L. 1999. Impact of Hazardous Waste on Human Health, New York: Lewis Publishers, CRC Press LLC Boca Raton

Likhachev H I. et al. 1986. Design Handbook of Wastewater System. New York: Allerton Press, Inc.

McKay Gordon. 1995. Use of Adsorbents for the Removal of Pollutants from Wastewaters. New York: CRC Press Boca Raton

Muller K R. et al. 1986. Chemical Waste-Handling and Treatment. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag

Watson Jack S.1999. Separation Methods for Waste and Environmental Applications, New York: Marcel Dekker, Inc.

第七章　非点源污染

非点源(nonpoint source 简称 NPS)污染,人们注意力通常主要集中在水体污染上,根据美国国家环保局(USEPA)所给出的定义,不是来自工厂和污水处理厂(通常所谓的点源),而是由分散的来源通过降雨、融雪等在地表或地表之下的径流所形成的污染。这些径流卷入和携带自然的和人为形成的污染物最终进入湖泊、河流、湿地和近海水域,甚至进入饮用水源和地下水。

如果考虑到水体之外的非点源污染,那么所涉及的内容就更广泛了,比如大气扬尘和沙尘暴,甚至基因和物种入侵等。

第一节　水体非点源污染
(Nonpoint Source Pollutants to Water)

美国在过去几十年曾做出巨大努力控制来自于工业和城市污水处理厂的对水环境的污染,但与此相反的是对于控制非点源污染做得不够。现实情况是:今天非点源污染仍然是构成美国水质问题的最主要原因,使得约 40% 的河流和湖泊等水体不清洁,不能发挥其功能。

中国的情况则要更严重得多。

7.1.1　非点源污染主要影响(Common Effects of NPS Pollutants)

非点源污染能够导致许多方面对环境的破坏和负面影响,如氨氮的大量增加可能会使水体溶解氧浓度大大降低,氨对水生生物有毒性,但最重要的应该是造成水体的富营养化,从而使水体退化,功能丧失。关于富营养化的分级见表 7.1。

表 7.1　水体富营养化程度划分

项　目	贫营养	中营养	富营养
无机态总氮/(mg/L^{-1})	<0.1	0.1～0.3	<0.5
无机态总磷/(mg/L^{-1})	<0.001	0.001～0.01	<0.03
BOD_5/(mg/L^{-1})	<1	1～5	<10
DO/(mg/L^{-1})	<5	5～1	<1
水色	蓝绿色	绿色	黄绿色
透明度/m	<5	5～1	<1
藻类数量/(万个·L^{-1})	<30	30～100	<100
细菌总数/(个·mL^{-1})	<100	100～10 万	<10 万
浮游生物/(个·mL^{-1})	<100	1000～2000	<3000
底栖生物/(个·m^2)	种多量少	种多量多	种少量多

当 N 含量大于 0.2 mg/L,磷酸态磷达到 0.015 mg/L 时,就可能发生藻华。中国 20 个有代表性湖泊和水库中,富营养化的占 13 个,且多数位于东部,特别是长江中下游,例如江苏的太湖、洪泽湖、玄武湖、莫愁湖和瘦西湖。

中国在 20 世纪末期曾因为富营养化严重,水体功能明显退化而重点抓"三湖"(江苏的太湖、安徽的巢湖和云南的滇池)的污染治理。这三个湖泊在 20 世纪 80 年代和 90 年代的情况见表 7.2。

表 7.2　太湖等"三湖"的富营养化

年份	项目	太湖	滇池	巢湖
1985	平均总氮浓度/($mg \cdot L^{-1}$)	0.90	0.23	1.67
	平均总磷浓度/($mg \cdot L^{-1}$)	0.02	0.02	0.03
	富营养化程度	部分富营养化	中度富营养化	富营养化
1997	平均总氮浓度/($mg \cdot L^{-1}$)	4.69	5.0	4.62
	平均总磷浓度/($mg \cdot L^{-1}$)	0.11	0.061	0.417
	富营养化程度	全湖富营养化	异常富营养化	全湖富营养化
	影响	自来水厂取水困难,水质腥臭,部分工厂停产,水产养殖下降	草海鱼虾绝迹,水质恶臭,水葫芦疯长,全湖覆盖 80%,外海水华严重,水厂停产	水质腥臭,养殖下降,水厂停产

7.1.2　非点源污染主要来源(Common NPS Pollutants)

针对水体的非点源污染涉及哪些来源呢?非点源污染来源是非常广泛的,可以产生于任何时候的对土地或水体的干扰和破坏活动,比如农业、林业、牧业、化粪池、旅游休闲船只、城市径流、建筑、河道的侵蚀和变形,以及动物栖息环境的改变退化等都可能是非点源污染的潜在来源。家居生活的不恰当管理也可能对非点源污染有贡献。

各个地方的非点源污染来源构成情况可能会既有大同又有小异,我们这里仅以江苏省太湖地区为例(见表 7.3)。

根据上表,工业排污对于化学需氧量的贡献还是比较大的,对于总氮有一定的贡献,对于总磷则很小了。生活污染无论是对化学需氧量,还是对总氮、总磷,都是最主要的来源构成。其他比较主要的来源为农田面源、畜禽和水产养殖等。城市径流没有单独列出,其作用实际上已经体现在所列出的分类里了。

美国的情况则有所不同,根据 USEPA 的数据,农业生产和养殖业对于非点源污染来说是最大贡献者,要占到一半以上。来自城市的径流也是比较重要的贡献者。再次之是生活污染。

表 7.3 江苏省太湖地区非点源污染来源构成

污染来源途径	COD$_{Cr}$(化学需氧量)		TN(总氮)		TP(总磷)	
	排放量 / (10^4t·a^{-1})	百分比 / %	排放量 / (10^3t·a^{-1})	百分比 / %	排放量 / (10^2t·a^{-1})	百分比 / %
工业排污	12.18	25.64	6.29	7.69	1.91	1.42
生活污染	22.77	47.94	38.17	46.68	91.37	67.98
农田面源	7.86	16.55	15.56	19.04	13.62	10.13
水土流失	0.86	1.81	0.80	0.98	1.92	1.43
畜禽养殖	1.68	3.54	10.46	12.79	18.44	13.72
水产养殖	0.28	0.59	3.74	4.57	4.07	3.03
湖滨旅游	0.04	0.08	0.02	0.02	0.03	0.02
湖面降水	1.43	3.01	4.73	5.78	1.40	1.04
湖面降尘	—	—	0.42	0.51	0.33	0.25
船舶污染	0.40	0.84	1.58	1.94	1.32	0.98
总计	47.50	100.00	81.77	100.00	134.41	100.00

上述不同主要是中国和美国国情的差别所导致,见表 7.4。

表 7.4 江苏太湖地区与美国的一些相关参数比较

	人口密度	城市化程度	农业人口	人均耕地
江苏太湖	930 人 / km^2	40%	59%	0.56 亩/ 人
美国	31 人 / km^2	80%	3%	12.4 亩/ 人

由上表可见,美国人均耕地约为我国江苏太湖地区的 22 倍,来自于农业生产的非点源污染贡献当然远高于后者;我国江苏太湖地区的人口密度是美国的 30 倍,那么前者的来自于生活的非点源污染排列在首位也就可以理解了。

第二节 水体非点源污染的防治
(Protect Water from Nonpoint Source Pollutants)

形成非点源污染的两个必要条件是各种污染来源和径流,所以要防治水体非点源污染必须从控制和减少各种污染源,并且要设法减少径流量。

7.2.1 控制来自于农田的非点源污染(Controlling NPS Pollutants from Farmland)

农业水污染已经不仅在欧美等发达国家,而且在发展中国家也日益引起关注。农业活动强度,包括化肥和农药的施用,以及各种专门性作物品种的越来越多的采

用,正在对水体产生越来越大的影响。最主要的产生于农业活动的污染物包括硝酸盐、磷和农药等。硝酸盐浓度的上升对饮用水构成了严重的威胁,而农药则对有毒物质的释放有着很大的贡献。地表水中硝酸盐和磷浓度的增加减少了水体支持植物和动物生命的能力,也降低了旅游和休闲的吸引力。所以人们必须采取各种技术性措施去减少来自于农业的非点源污染。

由于其特性决定了控制来自于农业的非点源污染是很困难的,在大多数情况下,农业污染来源是分散的,分布区域很广大,而且比较难以鉴定。农业污染并不稳定,随时随地在变化着,不仅仅取决于径流模式和土地的特性及坡度,而且也与农民对土地的使用,作物的选择,生产技术的采用,特别是肥料和农药的施用,有很大的关系。农民的选择又决定于市场和政府的政策支持。与城市和工业不同,目前很少有污染处理技术可以合适地应用于农田。污染控制措施必须基于影响农民对土地的使用等等决定的那些因素,所以农业政策和环境政策这种政策因素就是至关重要的,两者也必须要协同一致。

我们可以从调整农业种植结构,采用缓释控释肥料,变量施肥技术与配套机械,农药施用减量与解毒技术以及节水灌溉等几个方面来采取措施控制和减少来自于农田的非点源污染。

1. 农业种植结构调整

以江苏太湖地区为例,可以采用节肥型‘水稻-绿肥’种植制度作为调整手段之一。据调查现该地区有近 30 % 的农田处于冬闲或抛荒,可以探索建立水稻-绿肥种植制度,以增加农田覆盖,减少地表径流,并利用绿肥来减少水稻用肥。

针对种植蔬菜为主的可以采用生态菜园种植模式及其配套技术,对蔬菜栽培品种、间套种模式、用肥优化管理等进行研究,最终达到结构优化。

也可以探索稻田种养一体化生态模式及其配套技术,研究种草养禽(畜)农牧结合模式及其配套技术,分析比较在节氮、节磷以及增效等方面的作用与效果。

2. 缓释控释肥料研发

设计和筛选具有控释功能的高分子材料配方,例如筛选或改性具有控释功能的天然高分子材料、纳米材料等,进行配方设计。利用天然的脂质、多糖或蛋白质对无机化学肥料进行微包膜,研究微包膜的强度和膜渗透性、肥料养分的释放模式、受影响因素,并研究其释肥特性,优选出价廉高效的氮肥缓控释品种。

3. 精确施肥技术

采用 GIS 与定点监测相结合,联网实时定点监测与评价,建立简易实用的配套精确施肥技术。建立农田氮素转化与损失监测设施,确定控制氮磷污染的土壤

警戒残留量和最大允许肥料投入量,制定相应的控制指标。引进和发展先进的肥料深施机器,研究与试制适合水田操作的施肥机械,发展肥料深施技术,减少和遏制农田氮磷的流失和污染。

4. 农药施用减量

通过农药品种结构调整,根据农药对环境影响的敏感区划,筛选出对土壤、水体和农产品污染危害小的农药品种。通过农药剂型改良和农药施用技术、器具改进等安全使用措施,特别是生物防治技术和生物农药的开发应用,实现农药施用减量化。

针对已经污染的土地和水体,要开发适用农药污染土壤或水体的生物修复技术,包括农药污染土壤的生物修复技术、农药污染土壤-水体的生物修复技术、农药污染土壤-作物系统的生物修复技术。

5. 节水灌溉

在我国,目前一方面水资源紧缺,北方地表水普遍告罄,地下水已经严重超量开采使用,在许多地方地下水位形成了巨大的锥形,而另一方面则是用水的严重浪费,特别是农业灌溉用水。在过去几十年里,大力推动"旱改水",用水量大大增加,再加上迄今仍是普遍的大水漫灌,使得我国北方用水形势到了十万火急的地步,连我们的母亲河——黄河都曾有断流 226 天的记录。

灌溉用水的一部分被作物或土壤吸收了,而另一部分或者形成径流将农田里氮磷等肥料成分和农药等污染物带入水体,造成水体的富营养化,或者渗透到地下水,造成地下水的污染。所以节水灌溉有两重意义:节约灌溉用水,缓解用水困难,降低农业成本;减少带走农田氮磷等养分,减少携带进入水体的污染物。

7.2.2 政策的挑战(Policy Challenges)

要制定一项控制农业水污染的政策,首先要能够确定应该达到的水质以及采取何种措施可以达此目标。有许多问题,包括消除污染的代价和好处方面的信息的不完全和不充分,使得决定在一定经济效益前提下的理想水的质量非常困难。所以人们往往基于诸如人体健康或保护现存水体的利用等方面去制定有关标准。

能影响农民对土地的使用和生产何种产品的决定的既有教育与训练、道德宣传,以及技术帮助等一些志愿行为,也可以是一些如关于排放标准的规定、投入产出控制、技术等方面的控制措施,还有税收、津贴以及可转让的排放许可等激励性办法。对于来自单一源的污染,一些激励性做法往往很容易奏效,比如排放税就比之控制措施更易于促进排污削减水平的达到。但是,由于农业污染源大多是很分散的、多因素交织在一起的,所以单采用税收或津贴等手段不一定能奏效。其他一

些激励性办法,比如产品税和生产资料税也并不能对农民改变农田投入(例如施肥的时间和方法等)的方式产生有效的激励作用,尽管这样做可能会明显地减少农业污染。

除去效率之外,环境政策的目标还往往包含公平、可接受性、管理的简便和减少风险等考虑,这使得寻求合适有效的办法更加困难。显然的,没有哪个单项的办法可以满足所有的要求,而各种措施的加和则又在满足各单一标准上显得不完美,所以一项有效的政策必须是有所折中。

由于上述所列之政策挑战,因而我们不用对以下事实感到吃惊:在世界许多地方农业水污染仍然没有得到有效的控制。在欧洲联盟(EU),一项执行了数十年的跨国家的政策刺激了农业产量的增长,相应地间接地促进了污染的加剧。旨在减少污染的环境政策措施不得不面临着与农业政策措施的竞争。

法国、德国、荷兰和英国是欧盟中经受了严重的农业水污染之害的几个国家,尽管他们采取了不少各种各样的措施。这几个国家的经历表明,农业水污染控制没有一个简单的解决办法,需要很好的协调,特别是农业与环境政策的协调和一体化。

1. 欧共体的政策

直至 20 世纪 80 年代中期,欧共体的农业政策和环境政策是各自为政的,一方面农业政策只鼓励农业活动的高强度,而未将水质或其他的环境因素考虑在内;另一方面,环境政策又不太考虑农业的一些牺牲。其结果是变成了一个主要的水污染源,在一些地方甚至威胁到饮用水源。

2. 农业政策

共同农业政策(CAP)——并进了 1957 年的罗马条约——奠定了共同体的基础,通常被认为是导致西欧经济,最终是政治联盟的关键一步。其主要目标之一是增加农业生产并保证农业共同体有一个公平公正的生活标准。为达此目的,广泛地推行了市场价格支持措施以及可变的进口税收和出口津贴。到 20 世纪 80 年代中期,价格支持已覆盖了共同体内农业出口的约 90%,这项支出占到共同体预算的约 65%。这项政策和科技的进步大大刺激了共同体内的农业生产。从 1960 年到 1985 年,农业生产有了大幅度的增长,在法国约增长了 50%,而荷兰的数字则为 85%。

作为农业活动及其带来的对水资源的压力的明显增强的标志是无机氮肥的使用。从 20 世纪 70 年代到 80 年代中期,农田所施用的无机氮在荷兰增加了 42%,而在英国则增加了 135%。与美国相比,德国的氮施用强度高出 5 倍,荷兰高出 10 倍。

在欧共体的四个主要国家,当工业与城市排放量持续降低的同时,农业变成水体中硝酸盐和磷污染的主要来源。到 1990 年,农村地区地表水的氮污染农业贡献量达到 70 % ～85 % ,农业对磷污染的贡献量则达到 30 % 。而在城市地区,相应的数据分别下降为 50 % 和 5 % 。在 20 世纪 80 年代,由于污水处理的进一步提高要求以及清洁剂配方的改变,在许多欧共体国家以好氧量和磷为指标的河水污染水平降低了。但是有广泛而充分的证据证明,由于农业生产导致了高的并且还在增加的硝酸盐水平。

3. 环境政策

在欧洲,由于公众对环境的关注,20 世纪 70 年代出台了第一个环境规定。1973 年作为五年环境工作计划系列的第一部分正式面世,此后关于降低和防治水污染的好几个规定被通过执行。这些环境政策对于水污染的控制主要是通过规章与管理来实现的。他们主要致力于对水的一些特殊使用设定质量指标和减少特殊危险物质排放所导致的污染,但是确实没有明确地关注来自农业导致的水污染。

农业水污染最早“浮出水面”是与 1980 年共同体饮用水指令相关连的,该指令要求成员国应该在 1985 年达到饮用水供应质量指标(最高污染水平),但是直到 20 世纪 80 年代末,十分显然的大多数成员国没有达标。特别是关于硝酸盐的最高污染水平——50 mg/ L,在许多地区都超标。

尽管有些成员国对违反指令中规定的污染水平采取了惩罚措施,但那不是强制性的,而且也无人告诉消费者说水质已经背离了质量标准。供水者通常发现通过混合只能很有限的降低污染物水平,特别是当他们是从小型地下水源取水时,往往要不情愿地花钱投资在比较贵的技术上以图去除农业污染。比如英国水公司在 1990～1995 年就投入了 180 万英镑,而法国在 20 世纪 90 年代则投入翻了一番。

4. 政策的合一

20 世纪 80 年代共同体农业政策危机日趋发展,由于预算支出的快速增长和环境的破坏,人们越来越认识到现存的农业政策不是可持续的,唯有将环境政策和农业政策协调合一,方能有效地解决问题。

5. 国家控制措施

欧盟(原先的共同体)的农业政策是一种排外竞争,与之不同,共同环境政策给成员国留下充分自由去采取各自国家措施。根据各自不同的社会经济条件和农业市场模式,四个主要成员国就采取了完全不同的控制农业水污染的方法和措施。随着农业水污染的日益明显和严重,各国政府采取了广泛的控制措施,不仅包括自愿性的,也包括基于法规和激励的办法。

对20世纪80年代日趋严重的饮用水质量问题的最初反应是志愿行动的发展——教育和帮助农民去改善提高生产技术。例如,法国的农业部长和环境部长建立了一个负责推进有关农业水污染控制的教育、信息和研究的机构。当非常清楚地看到这样做不能给农业市场带来广泛而深刻的变化时,成员国就引进了控制措施,例如在1984年,荷兰政府就禁止批准新的"工厂式养猪和养家禽",而德国则于1986年对许多杀虫剂颁布了禁止令。

控制措施,特别是一些特殊的地理区域,常常伴随一些补偿性的赔偿。例如1986年在德国发布了特别土地使用禁止条例,那么在这些水保护区的农民就得到了赔偿。一些地方政府提出了被称为"水便士"的对于水价的特别税收,用作补偿金,以补偿在监测和执行时带来的麻烦和损失。另一种做法是将水保护区的土地买下来,再附加以严格的土地使用限制的条件下回卖给农民。这种做法主要是在荷兰和德国。

20世纪80年代后期开始采用一些基于激励的方法,例如在英国实施了一项计划,即在环境敏感地区向农民提供补助金引导他们减少使用化肥和农药或者转向有机农业。一种相对来说较新的做法是鼓励市镇当局或供水公司与农民签订协议,例如,为努力改善饮用水的质量,慕尼黑市给农民发津贴以换取他们降低农业活动强度。荷兰政府也采用一项基于激励的方法来控制肥料生产,主要是控制生产配额,90年代前半期的努力结果是生产配额明显紧缩了。

对旨在控制农业来源的硝酸盐污染的1991年指令的执行,在许多成员国都推迟了,而且欧洲委员会还"鼓励"了一些与之相背离的行动。一些国家在20世纪90年代后期才开始执行该指令。根据欧洲委员会的说法,农民应该对无机肥料的使用做记录,并且要为在环境脆弱地区使用肥料付"罚金",如果超出了"指令"所规定的每公顷所能使用的上限的话。比如,德国政府没有规定环境脆弱地区,但是却建立了一项全国行动计划,从1996年起要求农民实行无机肥料施用登记制度,根据"指令"的有关规定限制肥料的使用。

在德国已经开始重视削减牲畜总量。在荷兰,也在采取同样的做法,但由于其牲畜保有密度高于欧共体的平均值的5倍,所以这种限制就显得非常困难。这样做的目的是最终减少由于养殖所带来的污染。欧洲委员会希望通过监测和强制性措施使得成员国感到压力。

7.2.3　控制来自于农村居民的非点源污染(Controlling NPS Pollutants from Villages)

教育在使非点源污染得以控制方面的重要性是USEPA期刊上"一再提及的话题"。之所以如此,是因为你的"有所不知"可能就会破坏环境。当下雨或冰雪融化时,一些很不起眼的你的家前屋后的化学物质和其他污染物就会被带走而进入地表水。影响所及可能包括饮用水的污染、海滩的关闭,甚至还有濒危野生动植

物等。

那么农村居民能做些什么来保护地表水和地下水免受非点源污染呢？我们可以从家里做起。首先我们可以审视一下我们在家里的所作所为有哪些可能会对污染径流“做贡献”,我们可能需要做些改变。下面我们列出一些建议供参考,做些什么和不做什么,以使得我们成为解决而不是促进非点源污染的一部分。

1. 家中的化学物质

要意识到许多日常家中所用的化学物质是有毒的,去挑选一些毒性低的替代品,在任何可能的情况下选用无毒的替代品。购买化学用品时掌握只买你确实所需的量,多买了不仅浪费,而且可能会对非点源污染“做贡献”。

把家中不需要的化学制品送到有害废物收集中心,不要把它们扔到排水沟道里去。扔到排水沟道里很可能会破坏你家的化粪池系统,或者还会增加污水处理设备的污染负荷。不要将不需要的化学物质倒到地里去,因为土壤并不能将其净化,而且它们还会污染径流。

使用低磷或无磷清洁剂。尽量使用以水为稀释剂的产品。

家中有没有剩余杀虫剂？不管是在家中还是在户外,不要在没有确认确实需要之前喷洒杀虫剂,如有多余的应该送到有害废物收集中心。

2. 景观美化和园艺

当对你的院落或家前屋后进行景观美化时,选择那些对水、肥料和农药需求量小的植物。尽量少养殖那些可能会给害虫栖身的植物,也不要太多地保养那些需要非常多的养护的草坪。保护好现存的树木等,并且有可能的话再种植一些树和灌木等以防止土壤侵蚀,也有利于水向土壤中渗透和保持。利用景观技术,例如低湿草地或者多孔渗水走道,增加渗透和减少径流。

我们还有一些做法也可能有利于防止面源污染:

①利用木头或砖头等取代不透水的水泥走道。

②在车道和天井院落等处挖设沙砾沟渠对水进行收集并使其能够经过过滤渗透进入地下。

③在你的家前屋后修补裸露的地方以减少侵蚀。

④从居处向外建成 1 % 以上的坡度。

⑤把家前屋后修剪下来的东西留在地里,让这些东西里的营养物质可以循环利用。

⑥将来自院落的垃圾用来堆肥,因为堆肥是一种非常好的土壤调节剂,可以保持营养物和水。

⑦根据土壤情况决定是否施肥和怎样施肥。过量施肥是一个普遍的问题,这

些超出的肥料就会浸渗到地下水中去或者污染河流湖泊。在靠近水体的地方更要注意施肥。在沙地、坡地、密实的土壤和濒临水体的地方最好要使用缓释肥料。施肥时间也很有讲究,不合适的时间施肥可能会促进杂草生长。降雨前或下雨期间不要施肥或喷洒农药。

⑧保持降雨排水沟道的畅通完好。

3. 化粪池系统

化粪池系统的不适当维护可能会导致营养物质和致病菌对地下水和地表水的污染。为使化粪池能持续地正常工作,我们需注意以下一些做法:

①每年都检修一次。

②规模为 3～4 个立方的最好每 3～5 年清空一次,更小的则需更频繁一些地清空。

③不要使用化学或生物添加剂,因为至今尚无科学证据表明这种做法能够帮助或加快化粪池的分解作用,相反倒可能会影响系统的正常工作,甚至还会污染地下水。

④不要把雨水排放到化粪池中去。

⑤要避免把垃圾等倒进化粪池。

⑥不要把厕所当成垃圾箱,否则极易堵塞。

4. 节水

我们可以通过节约用水而显著地减少生活污水的排放。一些常用的做法包括:

①使用节水型水龙头、洗澡喷头、抽水马桶。其他例如洗衣机和洗碗机等也可采用节水型的。

②平时注意检修这些龙头等,尽量减少跑冒滴漏。

③洗衣或洗碗最好相对集中起来再洗。

④洗淋浴代替泡澡盆,而且洗淋浴时也注意随时关闭喷头。

⑤浇灌家前屋后的树木草坪和园地等不要用水过量,过量不仅浪费水,而且会增加肥料等向土壤渗透。浇灌设备也尽量采用滴灌等节水型的。

7.2.4　城市径流(Urban Runoff)

一份较新的美国国家水质报表指出,来自于城市的径流对于所调查河口来说是位居第一的破坏,对于所调查的湖泊河流等水体的水质来说是第三大污染源。根据人口和发展趋势推算,到 2010 年将有超过一半的美国人居住在沿海城镇。从这些快速发展的城镇出来的径流将继续污染恶化沿海地区水质。

中国的情况有所类似,甚至人口和经济活动在沿海地区的密集程度远超过上述美国的情况,珠江三角洲、福建、长江三角洲、胶东、京津唐以及东北地区原本就人口密集,经济发达,而现在人口正进一步向这些地区迁移集中,至于经济总量远超过一半。因此城市径流所带来的危害应该说不会比美国轻,如果考虑到中国的经济结构和环境保护现状,城市径流的影响肯定是很大的。前面所列的面源污染主要因素分类没有将城市径流列出,不是没有,只是没有渗入研究调查单独列出而已。

为了保护地下水和地表水的质量,城市的发展和生活都必须有所计划以限制径流和减少污染负荷。要达此目的,全社会应该既要在地方层次也要在流域层次来考虑问题,并且要从社会公共制度角度去考虑解决径流的管理问题。

那么城市地区到底是怎样影响径流的?

1. 增加径流

像林地、湿地以及草地等多孔和变化的地形使得它们能够截住雨水和融雪,并且让其慢慢地渗透进地下。形成的径流也总是趋向逐渐地流到受纳水体。与之相反的,城市里诸如道路、桥梁、停车场、建筑物等都属无孔性的,不能够让径流慢慢地浸渗到地下去。水便会保持在地面集聚然后,形成大的径流。

城市铺设了雨水下水道系统,可以快速地将来自于道路和其他不能渗透的表面的径流纳入。径流进入时得到加速。当径流离开下水道系统进入受纳河流时,大水量的快速流动的径流便会侵蚀河岸,毁坏河滨地带的植被,冲宽河道。其结果便是导致非汛期的水位变低,雨季的水位又会超过正常水位,增加沉积物负荷,以及较高的水温。土生的鱼类以及其他不能在城市河流里生存的水生生物将受到城市径流的严重影响。

2. 增加污染负荷

城市化进程会增加进入受纳水体的污染物的种类和总量。比较常见的包括:来自于已开发和新的建筑的各种残渣,来自于汽车的油和油脂以及有毒化学物质,来自于草坪和园艺的营养物质和农药,来自于功能失常的化粪池的病毒和细菌,还有重金属等。其中各种残渣和固体构成了城市地区受纳水体的最大宗的污染负荷。

当径流进入雨水下水道时携带了许多上述污染物。在比较老的城市,这些被污染了的径流往往直接排入水体而未经任何处理。这些增加的污染负荷当然也导致对鱼和野生动植物的伤害的增加,并且能够杀死土生物种,弄脏饮用水源,使得休闲娱乐地区变得不安全。

7.2.5　城市径流的管理办法(Measures to Manage Urban Runoff)

我们可以根据情况,有所区别地采取措施。

1. 对于新开发的

对于新开发地区应该通过建筑控制和污染防治策略力求保持径流量在开发前水平。通过建立对径流、残渣、有毒物质和营养物质的管理计划可以帮助达到目标。利用这些管理计划来保护生态敏感地区,减少对土地的干扰,保持自然排水区域和植被。

2. 对于现存的

相对新开发地区而言,控制现存市区的径流往往是比较花钱的。当然我们可以通过良好的策划来尽量节约开支。制定现存市区的径流控制计划,首先要确定优先污染物削减的可能性,然后是保护有助于控制径流的自然地,最后则是生态重建和对退化水体的各种各样的清洁。

3. 现场处理系统

对地表水的营养和致病菌负荷的控制可以始于现场处理系统(OSDSs)的合适的设计、安装和运行。化粪池应该建在远离开放水域和例如湿地和漫滩等敏感地带,并且应该定期检查修理。化粪池的正常运转和维护对于防止过量的排放有着非常重要的意义。

4. 公共教育

学校可以进行一些教育项目,教育学生怎样去防止污染和保护水的清洁。也可以把这种教育扩展到一些特殊的单位,例如各种服务站,让他们进行合适的"现场径流控制"。许多社区已开始了雨水排放管道的管理计划,鼓励人们不要将垃圾等直接倒入其中。

7.2.6　管理来自林业的非点源污染(Managing Nonpoint Source Pollution from Forestry)

在美国大约有5亿公顷的木材生产用林,尽管其中只有很小的百分比是每年都砍伐的,但假如没有适当的管理的话,林业还是会造成很严重的水质问题。美国《国家水质现状》在20世纪90年代曾报道,林业对江河等水体的水质问题的贡献大约在9%。

与非点源污染相关连的林业活动包括河滨植被的破坏、道路建设和使用、木材

砍伐,以及树木的栽种等。筑路和路的使用是林地非点源污染的最主要因素,对残渣贡献率在 90 % 以上。在靠近水边地带伐木会通过减少岸边遮阴对温度调节作用而影响水质,对植被的破坏会影响河岸的稳定。这些变化都可能会由于限制了食物、遮阴和遮蔽而造成对水生生物的损害。

为减少林业对非点源污染的贡献,林地拥有者应该制定和遵守林地管理计划。

执行经过科学制定的伐木计划能够导致两方面的好处:好的利润和对水质的很好的保护。这种计划应该是覆盖林业生产与管理的全过程的,清楚划定生产区域,制定保护区域,例如湿地和水滨植被,设定合适的林业活动时间表,对道路的规划、设计、建设和管理都有周详的管理措施,当然对于伐木方法和再生也要科学安排。

7.2.7 利用湿地来控制非点源污染(Managing Wetlands to Control Nonpoint Source Pollution)

在美国,州和地方都承认非点源污染是影响地表水和地下水质量的最重要的污染源。如果适当的管理和利用湿地,那么便可以很好地防止非点源污染降低水质。

合适地管理湿地可以截留径流,可以转变和储存非点源污染,比如说沉积物、营养盐和许多重金属。而且,湿地植被可以减慢径流速度和均匀分配径流的能量,从而保护河道等不被破坏。湿地植被还由于能够提供河岸遮阴,因而可以调节河流温度。一些城市已经开始尝试利用湿地作为控制径流和保护城市河流的一种有效的手段。

不适当地开发和超量的负荷可能会毁了湿地。退化了的湿地不但不再能够对保证水质有价值,而且会变成很突出的非点源污染。例如,大量的腐烂的湿地植被会增加生化耗氧量,不利于鱼和其他水生生物的栖息。退化的湿地还会释放所储存的营养盐和其他化学物质进入地表水和地下水。

美国国家环保局(EPA)推荐三种策略用以保证湿地对保护水质的价值:保护湿地,对退化湿地和水滨植被进行修复,构建工程系统在径流进入受纳水体和湿地之前进行处理。

1. 保护湿地

第一条策略是限制开发行为以保护湿地的功能。与此同时,该项策略鼓励对于上游流域的诸如农业、林业和城市等的发展要科学合理的规划。美国的环保局、农业部、国家海洋和大气管理局、工程兵部队和内政部等联合实施了几个项目,通过限制可能影响湿地的开发和对愿意保护湿地的人提供财政支持来保护湿地。在美国有许多非政府组织购买湿地加以保护,实践证明,这种努力在保护水质方面正

发挥着越来越大的作用。

2　湿地和水滨植被修复

第二条策略是推动对退化湿地和具有非点源污染控制潜能的水滨地区植被加以修复。水滨地区是指作为能量、物质和水的通道的水体的沿岸生态系统,其特点是高的水位、周期性泛滥和受所相邻的水体的影响。它们包围湿地和高地,或者这二者的某种组合。

修复旨在恢复湿地的原先所有功能。这意味着重新构建湿地的土著植物群落,并且视情况利用一些建筑物对水流加以控制。修复的着重点在于依据生态学原理,重建生物多样性以及不同水生和水滨生物栖息类型。

3　构建工程系统

第三条策略是推动构建工程性的基于植物处理系统(VTS)。VTS在径流进入自然湿地之前去除非点源污染中的悬浮固体和沉积物方面尤为有效。

有一种VTS,叫做植物滤带(VFS),是一种种植草和树的长条状的土地,能够在径流进入湿地之前加以拦截。VFSs在去除沉积物方面非常有效,去除率往往可达70%以上。人工湿地是另一种VTS,其特征在于是一种模拟自然存在的湿地的水、植物和野生生物复杂的典型混合体。有研究表明,人工湿地对沉积物的去除可达90%以上。

第三节　其他非点源污染
(Other Nonpoint Source Pollutants)

其他非点源污染包括基因和物种入侵,还有沙尘暴等。

7.3.1　物种入侵(Species Invading)

据不完全统计,目前我国有主要外来杂草107种,外来害虫32种,外来病原菌23种。这些外来生物的入侵给我国生态环境、生物多样性和社会经济造成巨大危害,仅对农林业造成的直接经济损失每年就高达574亿元。

据中国履行生物多样性公约工作协调组负责人介绍,外来物种对我国的危害表现在多个方面。首先,外来入侵物种会造成严重的生态破坏和生物污染。大部分外来物种成功入侵后大爆发,生长难以控制,造成严重的生物污染,对生态系统造成不可逆转的破坏。比如,原产南美洲的水葫芦现已遍布华北、华东、华中、华南的河湖水塘,疯长成灾,严重破坏水生生态系统的结构和功能,导致大量水生动植物的死亡。

其次,外来入侵物种通过压制或排挤本地物种,形成单优势种群,危及本地物种的生态,最终导致生物多样性的丧失。比如,原产中美洲的紫茎泽兰已遍布我国西南大部分地区,原有植物群落迅速衰退、消失。

另外,生物入侵导致生态灾害频繁爆发,对农林业造成严重损害。近年来,松材线虫、湿地松粉蚧、美国白蛾等森林入侵害虫严重发生与危害的面积,每年达150 万公顷;稻水象甲、非洲大蜗牛、美洲斑潜蝇等农业入侵害虫每年超过 140 万公顷;豚草、飞机草、水葫芦等肆意蔓延,已到难以控制的局面。据保守估计,全国主要外来物种造成的农林业经济损失平均每年达 574 亿元。

外来生物入侵不仅对生态环境和国民经济带来巨大损失,还直接威胁到人类的健康。比如,豚草、三裂叶豚草现已分布在东北、华北、华东和华中的 15 个省市,它的花粉就是引起人类花粉过敏的主要病原物。

1. 豚草

豚草包括普通豚草和三裂叶豚草,属菊科,豚草属,原产北美。20 世纪 30 年代传入我国,现广泛分布于东北、华北、华中、华东、华南的 15 个省、市,并形成了沈阳、南京、南昌和武汉 4 个扩散中心。据对沈阳等 8 城市的荒山、河滩、铁路公路两旁等多种栖境调查,豚草对禾本科、菊科等 1 年生草本植物有明显的排挤作用。在豚草发生区,昆虫的多样性显著降低。除对本地生物多样性构成威胁外,豚草花粉是人类变态反应症的主要致病原之一,所引起的“枯草热”对全世界很多国家的人类健康带来危害。

豚草具有极强的繁殖能力和环境适应能力。据了解,一株发育良好的豚草产籽量可以达到 7～10 万粒,种子随风飘扬 100 多千米远,可随人的鞋底、水流、交通工具等四处传播,生物学家曾在野外捕捉的鸟食囊中发现了 100 多粒豚草籽。更令人惊讶的是,这些豚草籽落地 30～40 年仍然具有生命力,无论是荒郊野外还是城区甚至是硬化土壤,豚草都能够生长。

每年的 6、7 月份是豚草开花期,也是其肆虐的时候。它的雄花序能产生大量致病的花粉,摇曳植株就能看见黄雾般的花粉散落,研究表明,每平方千米豚草可产花粉十几吨,美国每年产生豚草花粉 100 多万吨。

豚草是一种可造成农作物大面积撂荒的世界性危害草。豚草有极其强大的繁殖能力,吸收营养和水分的能力极强,因此对农牧业造成相当大的危害。目前,豚草在国外和我国东北已大量侵入农田,江南地区和江西省仅有部分豚草植入农田、果园、苗圃。南方省区虽未在农田大面积造成危害,但是其潜在危害将十分严重,尤其是粗放型农业耕作区域一般都是豚草重灾区。据有关专家介绍,豚草能混杂在所有旱地作物中生长,特别是玉米、大豆、向日葵、大麻、洋麻等中耕作物和禾谷类作物,并能导致作物大面积草荒,以致绝收。据试验表明,在一平方米的玉米地

中,发现 30～50 株豚草,玉米将减产 30％～40％,当豚草数量增加到 50～100 株时,玉米几乎就是颗粒无收。

豚草花粉是引起人体一系列过敏性变态症状——枯草热的主要病原。空气中豚草花粉粒的密度每立方米达到 40～50 粒,人群就能感染枯草热(秋季花粉症)。江西医学院第二附属医院呼吸科颜春松在 20 世纪 90 年代就开展过豚草过敏症专项研究,患者的临床表现为眼、耳、鼻奇痒、阵发性喷嚏、流鼻涕、头痛和疲劳;有的胸闷、憋气、咳嗽、呼吸困难。年久失治的还可并发肺气肿、肺心病,痛苦万状,甚至死亡。豚草植株和花粉还可使某些人患过过敏性皮炎,全身起"风疱"。

在国外,美国每年豚草患病者达 1460 万人。加拿大也有 80 万人。前苏联克拉斯诺尔达地区,在豚草花期约有七分之一的人因患豚草病无法劳动。因此,国外将豚草定为国际检疫杂草、公害杂草。有关专家告诫,由于我国人口基数大,患花粉过敏的人只有 10％多,但如果不趁豚草泛滥之初尽快清除,将来患病人多绝不亚于欧美。

在防治的方法上,化学方法见效快,但污染严重,专家建议采用生物法防治豚草。据了解,豚草的生长特点是"见缝插针",只要有空地就会被它迅速占领。专家建议应结合城市绿化,选用有竞争力强的植物对豚草进行"围追堵截",占领城市空地,只要在豚草易生区种植生存竞争力比它更强的洋生姜等经济植物予以防治,不失为一种较好的治理方法。直至目前尚未发现有豚草的天敌。

目前在日本等国都有"豚草防治日"和星期六、日义务除豚草制度,我国应该加强宣传,提高认识,把豚草防治像"植树节"那样成为一项制度确定下来。

2　水葫芦

凤眼莲俗称水葫芦,原产南美洲,可作禽畜饲料,可以净化水质并具观赏价值。此物明代已有,后沦为野生状态,现广泛分布于华北、华东、华中和华南大部分省市的河流、湖泊和水塘中。连绵 1000 公顷的滇池,水葫芦疯长成灾,布满了水面,导致水中植物和动物的死亡,16 种水生植物已经难觅踪影,68 种原生鱼种已有 38 种面临灭绝,水葫芦还阻碍船只的自由通行,人们不得不耗费巨资予以清除。凤眼莲目前"称霸"全球水域,已被列为世界十大害草之一。

水葫芦通常自由漂浮于水面,无性繁殖速度极快,在适宜条件下每 5 天就能繁殖一新植株,也能开花结种进行有性生殖,一枝花大约产生 300 粒种子。

2001 年在南昌,近一个月的连绵阴雨不但给南昌市民带来不少麻烦,也给一些"不法生物"提供了大量水分,水浮莲、空心莲子草疯狂"超生",大有长不惊人死不休之势,桃花溪内水浮莲铺天盖地,令人惊叹。这些水浮莲全然不像乡间水浮莲那般矮小,它们个个株体修长,不低于 40cm,且肥硕发光。据南昌市政人员介绍,一下雨这些生物严重阻塞了河水的流动,导致涨水。这条河已受到生活污水的污

染,水浮莲在此环境中恶性生长。现在一般只有人工打捞,药物一般无效。更可怕的是,它们一旦遇到水立刻“还魂”,只要河里有一株,很快蔓成一片。至今尚未发现有什么特效的处理办法。

3. 发生的原因

这些物种入侵得以发生发展的原因,主要在于人们的思想重视不够,有意无意地将外来植物带入境内,如不规范的引种、游客带入的花草等。

立法没有跟上,对外来植物入侵缺乏有效的法律法规约束。

缺乏科学有效的检测和检疫监管手段。据 1997 年统计,全国只有首都机场有一台 X 光机,因此难以在机场、口岸、海关等地拒“敌”于国门之外。

媒体宣传和公共教育力度不够,公众的生态安全、生物安全和环境安全的生态环境保护意识还未深入人心。

基础研究比较薄弱,对外来植物入侵带来的全面生态效应研究得不够。例如引进外来植物后,相应的天敌并没有引进,致使生态失衡。

4. 控制措施

随着中国加入 WTO,中国与世界各国的商务往来、旅游活动和其他交流日益增多,外来植物入侵形势日益严峻。对此,我们要有清醒的认识,为了消除绿色污染,应该强调防重于治,拒“敌”于国门之外,采取的主要措施有:

①加大外来植物入侵危害的宣传教育力度,使人们从思想上重视起来,才能防患于未然。

②修订国内立法,加强外来物种引种法规程序的建设。

③谨慎引种,严格进口审批把关。

④强化检测和检疫监管手段,建立起规范化的检测检疫体制和体系。

⑤加强外来植物引种效应的基础研究,建立起外来植物入侵的动态监测系统和风险评估中心。

⑥加强已经引进的外来植物物种管理,建立起国家监控的数据库系统。

⑦植树造林严格种源选择,强调使用当地物种,做到适地适树(包括花草和其他植物)。

7.3.2 基因污染(Gene Pollution)

近年来,欧美关于转基因食品是否安全的争论闹得沸沸扬扬。转基因食品生产和输出大户美国,从其自身利益出发,主张只要科学上无法证明它有害,就不应该限制。而转基因食品输入最多的欧洲国家,公众对转基因食品普遍感到恐慌;他们认为,一些动物实验显示,某些转基因食品对动物有害,而对人类如何由于时间

短还不清楚,但只要不能否定其危险性,就应该加以限制,二者针锋相对。为此,2000 年 2 月 28 日在英国爱丁堡举行了一个有关基因改性食品安全的国际论坛,会议呼吁人们对此类具有革命性但尚有争议的产品保持谨慎,并予以合理评价;国际消费者联合会确定:转基因食品——消费者有权认知。即所出售的转基因食品必须有标识,让消费者明明白白。是否选择这类食品,由他们自己来决定。中国消费者协会也指出,中国 12 5 亿消费者也应该有权知道转基因食品。

1. 转基因生物体

科学家为了改变某些动植物产品的品质或为提高其产量,把一种生物的基因转到另一种生物上去,叫作转基因。以转基因生物为原料加工生产的食品就是转基因食品。例如,在西红柿里插入某种细菌的基因,可以使西红柿花成熟的时候果体比较硬,便于储运、加工;给玉米插入抗虫害基因,可增强其抗虫害能力(例如,美国培植的一种 Bt 玉米,其内含有毒素,这种毒素能够杀死欧洲玉米螟)等等。因为这些东西都是人为的,对人体及食物链是否有害,目前尚无定论,须经长时间的实践检验才可得出正确结论。近几年来,全世界转基因作物种植发展迅速,1999 年达到 4000 万公顷,仅美国、加拿大、阿根廷三个国家就占其中的 99 %;此外,中国、埃及、南非、印度和巴西也有一定量的种植。主要品种有:抵抗昆虫的玉米、抵抗害虫的大豆、抵抗病害的棉花、富含胡萝卜素的水稻、耐寒抗旱的小麦、抵抗病毒的瓜类和控制成熟速度及硬度的西红柿等。据国际农业生物工程应用技术采购管理处今年 2 月份公布的数字表明,中国转基因作物种植面积发展很快,1999 年比 1989 年增加了 204 倍,达到 30 万公顷,但主要是棉花。

2. 关于转基因的种种忧虑

人们对于转基因生物和转基因食品的忧虑主要有两个方面,一是对人体健康是否有害,一是对生态环境是否构成潜在威胁。联合国粮农组织指出,随着传统的栽培品种逐渐被少数转基因品种所取代,生物的多样性有可能会慢慢消失;另一方面,可能会引起“异型杂交”——植物之间交叉授粉,导致出现抗病能力特强、蔓生速度更快的杂草,从而扰乱生态系统的平衡。对于人体基因的某种转移也许会产生新的毒素和过敏原,引起意想不到的中毒或过敏反应。例如,一些科学家发现,转基因食品可令肝脏发大;英国科学家普斯陶伊实验,连续喂食老鼠基因改良土豆,发现部分老鼠的肾、脾、大脑等器官收缩或发育不正常,免疫系统变弱,等等。

还有一种忧虑是经济方面的。印度的一些专家指出,六家大公司控制着这种技术,他们所做的并不是设法为第三世界创造出增加产量的作物,实际关注的是商业利益,并利用转基因种子和作物的专利权把发展中国家的农民逼入困境。

由于欧洲公众的抵制,今年美国不得不减少转基因作物的种植,其中转基因棉

花和玉米面积各减少 8 %,转基因大豆面积减少 5 %。

3. 转基因的好处

转基因技术带来的好处也是显而易见的,第一,通过此项技术可以改良品种。例如,培养对地力消耗较少又抗倒伏的矮秆作物和抗干旱、耐盐碱、抗重金属且产量高的品种,从而在有限的耕地上生产出更多的粮食,以舒缓因人口不断膨胀所造成的食物短缺问题。第二,可以延长食品保存时间及增加营养成分。例如瑞士科学家培育出的一种富含胡萝卜素的水稻新品种——“黄金水稻”,可望结束发展中国家人口维生素 A 摄入量不足的状况(注:胡萝卜素是形成维生素 A 的基础材料,维生素 A 缺乏症是导致发展中国家千百万儿童失明和罹患其他疾病的常见原因)。第三,通过给作物加入防虫防菌基因,使作物本身产生抵抗病虫害侵袭的能力,因而可减少农药的使用量,有利于环境保护。例如,加拿大 1996 年农药使用量减少了 40 %。第四,转基因技术及转基因食物目前正向医疗药用方面扩展。例如,目前的抗痢疾治疗成本高,科学家已开始研究将有关因子植入香蕉内,制成口服疫苗。

目前一些支持转基因产品的学者和各界人士,其主要出发点也是从转基因产品可以高产,解决发展中国家的饥饿问题来考虑的。

7.3.3 沙尘暴(Sand Storm)

在气象学中科学家将沙尘天气分为浮尘、扬沙和沙尘暴三个等级。浮尘是指无风或在风力较小的情况下,尘土、细沙均匀地浮游在空中,使水平能见度小于 10km 的天气。浮游的尘土和细沙多为远地沙尘经上层气流传播而来,或为沙尘暴、扬沙出现后尚未下沉的沙尘;扬沙指由于风力较大,将地面沙尘吹起,使空气相当浑浊,水平能见度在 1～10km 的天气;沙尘暴则指强风将地面大量沙尘卷入空中。使空气特别浑浊,水平能见度低于 1km 的恶劣天气。强烈的沙尘暴瞬时风速大于 25m/s,风力 10 级以上,可使地面水平能见度低于 50m,破坏力极大,俗称“黑风”。

1. 沙尘暴频发地区

沙尘暴是不同于扬沙或浮尘的天气现象,也有别于单纯的大风天气,它是内陆沙漠区特有的灾害性天气。北非的撒哈拉沙漠、北美中西部、澳大利亚中部和中亚地区都是沙尘暴天气的多发地区。

中国的沙尘暴天气主要出现在西北、华北地区。数千年之中,风起尘嚣,中国北方百姓在历经旱、涝、蝗灾之后,也饱尝了风沙侵袭带来的灾。沙漠研究所黄兆华先生的统计表明,我国西北从公元前 3 世纪到公元 1990 年共发生风沙尘暴 140 次,其中大约 70 次发生在 1949 年以前。《明史》所载隆庆元年(公元 1567 年)“冬

十二月夜靖虏卫天陨黄沙”,《朔方通志》载天启元年(公元 1621 年)“四月乙亥午宁夏洪广堡,风霾大作,坠灰片如瓜籽,纷纷不绝,逾时而止,日将沉,作红黄色……”

这些文献都比较清楚地记述了降尘天气特征。通过统计可以发现西北地区从公元前 3 世纪到公元 1949 年的 2154 年中共发生风沙尘暴 70 次,平均 31 年发生一次。但风沙尘暴在各个世纪发生的次数多少不一,少时为零次,多时高达 17 次;20 世纪前半叶仅 50 年中就出现 27 次。总趋势是从 13 世纪后频率增高,18 世纪后大增。沙尘暴的发生时间虽在一年中各个月份均有可能,但以 3 月、4 月和 7 月发生最多,占总数的 51.6%。

沙尘暴的发生地新疆约占 20%、甘肃占 54.3%、宁夏占 14.3%、陕西占 4.3%、内蒙古占 15.7%。除了发生在省区内的沙尘暴,跨省区的强沙尘景也占相当比例。如果文献中有关记载能够反映历史时期沙尘暴发生的基本规律,那么历史时期整个北方乃至于西北地区这种恶劣天气的发生频率都远远低于今天。

2　今天的沙尘暴

新华社 2000 年 3 月 27 日电描述了 3 月份沙尘暴第四次光顾北京的情况:上午,北京城风沙弥漫,天空和街道笼罩在黄色尘雾中,报纸和彩带在空中飞舞,好似断线的风筝。大风夹着沙砾打在人们的脸上,使人生疼。街上人们个个呈滑冰状行走,好像是与风沙抗衡。刚刚迎春盛开的花朵和绽开的绿叶被狂风肆虐着,并被狠狠地摔在地上。

2000 年 3 月的北京,扬沙、降尘,20 几天内人们笼罩在尘沙之中。4 月开始西来的风又带来新一轮的降尘天气。4 月 6 日沙尘暴第 6 次袭击北京,新华社 4 月 6 日作如下报道:

今春已经饱受“风沙之苦”的北京人又迎来了一个飞沙走石的早晨。从今天上午 9 时左右开始,本来晴朗的天空逐渐被大风卷起的黄沙和灰尘所覆盖。上午 10 时许,北京大部分地区已经完全被沙尘笼罩,天空变成黄色,街上的行人明显减少。

次日“北京晨报”惊呼“沙尘暴笼罩北京”:狂风漫卷,黄沙迷蒙。昨天,整个北京城笼罩在沙尘之中。从上午开始,大风席卷着黄沙从北面向北京袭击,北京的天空渐渐被黄沙吞没。8 时许,昌平县受沙尘袭击,10 时许……

辽东、胶东隔海相望,令大连人“脸面无光”的沙尘暴也同样袭击了山东半岛,“大连日报”4 月 10 日报道“狂风大作黄沙漫天,沙尘暴昨天袭击山东省”:

4 月 10 日下午 3 时 10 分,家住山东工业大学的张老师正在备课,突然通往阳台的房门被一阵狂风撞开,随之室内便沙尘弥漫。张老师关上门,再回到书桌旁发现桌面上落了薄薄的一层沙土。在同一时刻,泉城济南被风沙笼罩。地面上废纸、塑料袋随风而起,扶摇直上。在公园、广场游玩的人们猝不及防,急忙寻找避风避沙之所。至 3 时 30 分,天空急剧变暗,犹如傍晚。路上车辆开亮车灯,速度减慢,

路口形成长长车流。3 时 45 分,天空下起阵雨。

虽然人们对沙尘暴这一天气现象已通过媒体有所了解,但对猝不及防的沙尘暴袭击仍感震惊。在济南植物园门口,一位年近花甲的同志看着漫天飞舞的沙尘忧虑地说,在济南生活了几十年,这是第一次见识沙尘暴天气。

再看包头,不比不知道,这里的沙尘暴的确要比北京强大许多。嚼着满嘴沙子进入宾馆,但房间里、餐厅里到处弥漫着尘土的味道,呛得人嗓子发痒、鼻子发干。昨天中午,在包头市百货商场三楼的民族用品专柜前,一位售货员小姐告诉记者,这是包头今年最大的一次沙尘暴,持续时间也最长。为了防止黄沙时时扑面,她每天上班都准备好一条纱巾、一只口罩,以备不时之需,好做真正的"包头人",而且包头许多女士的包里都有此防沙装备。

3. 为什么沙尘暴频发

中国科学院地学部 2000 年 5 月 7 日上报务院的"关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策"报告中指出,沙尘暴和扬沙天气的发生一般要有两个条件:

①足够强劲的风力。强冷空气是形成沙尘天气的驱动力,只有足够强的冷空气,才有可能成强的气压梯度,促进大气环流的运行。

②地表丰富的松散干燥的沙尘。在强大气流的驱动下,地面缺少植被覆盖时,气流携带大量表粉尘,悬浮在空中形成粉尘,其高度达 1000～2500 m,严重时可达 2500～3200 m。

根据科学家的观测,沙尘天气自 2000 年开始陡然增加,分析其中的原因,与沙尘天气形成条件直接相关。10% ～70% 之间的地表,起沙风的临界值为 6.0～17.0 m/s。很明显植被覆盖率的提高可以有效地抑制风沙活动。近 50 年来,中国北方的土地利用-覆盖发生了很大变化,在城乡居民集中居住的地区,随着城镇用地、农田增加,自然植被明显减少;而农林牧区,则农耕地明显增加,天然灌丛和草地明显减少。科学家利用遥感技术和定位观测,发现从 1973 年到 1996 年 24 年间呼伦贝尔沙地中湿地由 3.25% 减少到 0.36%,旱地由 5.3% 增加到 8.9%,河流湖泊由 3.09% 减少到 0.88%;鄂尔多斯高原东北部的库布齐沙带和准格尔覆沙梁地城镇用地由 0.17% 增加到 1.74%, 草地由 44.11% 减少到 39.46%,灌丛林地由 14.45% 减少到 4.06%,旱地由 2.08% 增加到 16.89%。用于抑制风沙活动的植被不断减少,而有助于风沙活动的裸地在增加,在同等风力条件下,目前的土地利用-覆盖变化更有利于风沙活动的进行。

2001 年 3 月全国人大环境与资源委员会主任曲格平也提出类似的观点,他说:"风沙自古就有,最近越来越频繁了。原因一是北方连续多年干旱;二是不适当开垦把生态破坏了,使绿洲萎缩,沙漠地区环境恶化;三是过量放牧。"

参考文献

贝尼菲尔德等著.邢建等译.1984.废水生物处理过程设计.北京:中国建筑工业出版社

高廷耀.1999.水污染控制工程.北京:高等教育出版社

韩茂莉等.2002.大漠狂风.太原:山西人民出版社

李荣刚.2000.高产农田氮素肥效与调控途径.博士论文

钱易,米祥友.1993.现代废水处理新技术.北京:中国科学技术出版社

杨京平等.2001.农业生态工程与技术.北京:化学工业出版社

左玉辉.2002.环境学.北京:高等教育出版社

Lagreid M, Bockman O C, Kaarstad E O.1999. Agriculture Fertilizers and the Environment. Norway: CABI Publishing

Robert A Corbitt. 1998. Standard Handbook of Environmental Engineering (2nd ed.). New York: McGraw-Hill Handbooks

附录

禁磷不能“一刀切”

刘鸿志　卢雪云

摘要:本文从分析水体富营养化的原因入手,指出实施禁磷工作的重要性,并在分析评价当前工作的实施情况和效果的基础上提出禁磷工作要因地制宜,不能“一刀切”。

目前,我国大多数湖泊,尤其是“三湖”流域(太湖、滇池、巢湖),水体处于富营养化状态,在很大程度上制约了当地社会和经济的发展。而引起静态水域、湖泊富营养化主要限制因子是氮和磷,因此,禁、限磷的呼声日益高涨。本文主要以太湖为个案,分析当前禁磷工作的实施情况和效果,并在此基础上提出一些建议和意见,希望能对禁磷工作措施的展开起到一定的指导作用。

一、磷酸盐与水体富营养化

水体富营养化是指水体内部由于营养成分增加,促进了水生生物的活动,特别是藻类的大量繁殖,可能会增大有机物量,使水质发生变化。通常来讲,富营养化到了一定的程度,水体的透明度下降,溶解氧浓度急剧下降,饮用水发腥发臭,淡水鱼大量死亡,水色深绿,甚至褐色。“水华”严重时,远远看去,水面像覆盖着一层绿色油漆,产生的社会影响极其恶劣。

这些年来对湖泊富营养化的研究表明,水体富营养化主要是水体中的氮和磷酸盐类积蓄的结果,且都以磷为限制性因子,因此,控磷自然成为“三湖”水污染防治工作的重点。

二、洗涤用品对水体的危害

我国目前洗衣粉的配方中大多含有17%左右三聚磷酸钠(含磷量约为4%),洗涤废水随生活污水直接排入湖泊和河流等地表水造成一定的营养磷负荷,加快了我国一些湖泊水域富营养化的进程。

近10年来,我国洗涤用品工业发展很快。1980年,全国洗衣粉的产量仅为36万吨,人均不足0.3千克,到1996年,全国洗衣粉产量已达到190万吨,人均1.6千克。目前,洗涤用品年产量已达300多万吨。我国市场上畅销的洗衣粉的磷酸盐平均含量普通型一般是17%左右,含磷量4.25%,浓缩型一般是30%左右,含磷量7.5%。这些磷酸盐在使用过程中,直接或间接排放到水体,导致了江河湖泊及近海海域越来越频繁的“水华”和“赤潮”现象。据中国科学院南京地理与湖泊研究所进行的含磷洗衣粉对太湖富营养化影响评估的研究表明,太湖流域洗衣粉排磷占入湖总磷量负荷的比例为16.1%,是太湖第二大磷贡献源。

因此,禁、限磷工作日益提到了日程上来。

三、禁磷工作的实施情况

无论是西方国家抑或是我国,自禁、限磷运动开展以来,就一直存在着两种不同意见。

支持者认为,磷促使了水中藻类的生长,大量的藻类消耗了水中的氧,使鱼、浮游生物缺氧而死亡,尸体腐烂后造成了水质的污染。对洗涤剂的禁、限磷措施可以减少生活污水的含磷量,对治理富营养化严重的水体是必不可少的措施之一。

反对者认为,即使全部取缔含磷洗涤剂,最多只能解决约20%的磷污染问题,而影响水质污染的源是多方面的,不仅仅是磷,还有氮和各种有机物以及固体悬浮物等,只有建设先进的废水处理系统,才是解决水体富营养化的根本方法。

但不管怎样,禁、限磷措施的实行对减缓水质的恶化还是有一定帮助的。

下面先来分析一下太湖禁磷措施的开展和具体实施情况。

为有效地控制太湖流域富营养化的进程,国务院于1997年制定了“太湖水污染防治九五计划和2010年规划”的治理方案,并出台了一系列相应的治理措施。江苏省、浙江省有关部门根据这一要求,于1998年颁布了在全流域地区内禁用含磷洗涤剂的正式文件,并于1999年1月1日起正式实施。

通过对太湖上游及沿湖地区有代表性的532户、1819人次使用无磷洗涤剂状况的调查,结果表明:目前太湖流域地区每人每年无磷洗涤剂的用量为3.33千克,其中城市居民平均为3.27千克,农村居民平均为3.39千克,农村居民用量略高于城市居民;太湖地区80%的住户在1999年下半年以前开始使用无磷洗涤剂,在1999年底,99%以上的住户使用无磷洗涤剂,在调查的81家商店中,79家在销售无磷洗涤剂。可见,太湖地区的禁磷措施得到了较好的落实,并且也得到了广大群众的拥护和支持。

但需要指出的是,虽然群众支持使用无磷洗涤剂,却很不满意它的去污效果,而且由于技术的缘故导致其销售价格偏高,长此以往,将会影响禁磷工作的进一步深入。

四、禁磷工作的实施效果

目前,太湖地区使用的无磷洗涤剂的平均含磷量为0.06%,而原有含磷洗涤剂的平均含磷量为5.17%,禁磷后削减了生活污水的含磷量。通过对无锡市芦村污水处理厂、常州市污水处理厂、苏州新区污水处理厂的调研分析,实行"禁磷"措施后,进入上述3个污水处理厂的磷浓度有明显下降,生活污水占进厂污水密度较大的污水处理厂,相应的磷的降低的幅度也较大。经计算得知:无锡、常州、苏州3地禁磷后生活污水含磷量分别下降17%、16%和25%。

但同时,也存在着一些不足之处,如专家指出:禁磷后第一年(1999年)与禁磷前一年(1998年)相比较,入湖河道的磷浓度有所下降,由0.149毫克/升下降到0.124毫克/升,但2000年的监测数据却表明,入湖河道的磷浓度又上升至0.175毫克/升。

这个矛盾数据显示,禁磷不是主导入湖河水磷浓度变化的主要因子,对太湖入湖河道磷浓度的影响并不明显。

从太湖湖体水域中磷浓度和富营养化指数来看,1999年与1998年相比较,均有明显程度的偏低,湖水磷浓度和富营养化指数分别下降了16.07%和3.29%,但2000年湖水磷浓度和富营养化指数分别上升了18.75%和6.75%。与太湖入湖河道水体磷浓度的变化趋势完全吻合,这进一步表明禁磷措施并不是影响湖体水域磷浓度和富营养化程度的主要因子。

自1997年以来,国家和太湖流域地区各级政府部门和群众为太湖水污染的防治做了大量的工作,除了实行禁磷政策外,还进行了工业污染源的达标排放,城市生活污水处理厂的建设,禽畜养殖、水产养殖污水治理、湖区农田化肥控制和生态农业示范区建设,入湖河道清淤和引进清洁水源等治理工作。这些因素的贯彻实施共同影响着太湖流域水质的变化,所以,对禁磷工作的得失不能一概而论。就目前状况来看,禁磷措施对减少太湖流域水体含磷量的增加是起到一定作用的。

但是,这是否就说明了其他河流也可以采取类似的禁、限磷措施呢?

五、禁磷工作不能"一刀切"

采取禁磷措施以来,太湖的水质状况虽有所好转,但这并不说明该措施有在全国推广的普遍意义,禁磷工作不应"一刀切"。下面是笔者对禁磷工作的一些建议和意见。

第一,封闭、半封闭水域和近海岸域地区宜尽早实施禁磷措施。湖泊富营养化的成因复杂,国内外对此问题的研究和讨论一直都没有停止。以太湖为例,从上面分析可以看出导致太湖富营养化的原因极其复杂,当前的治理措施不仅需要限制含磷洗涤剂的排放,更需要借助包含恢复生态功能、兴建污水处理工程等综合手段。在禁磷措施的实行问题上,目前比较统一的看法是:在封闭或相对封闭等特定的水域里容易出现富营养化,在特定的水域里实行禁、限磷措施是有效的。因此,我国可在人口密集的内湖地区,如太湖、巢湖、滇池等地区以及沿海水质富营养化比较严重的地区和赤潮容易发生的海域出台并及早施行禁、限磷措施,以减少总磷负荷,防止这类地区水质的进一步恶化。

第二,禁磷措施应和产业结构相适应。从经济角度来看,在我国大范围内推行无磷洗涤剂也是不现实的。一是无磷洗涤剂的产品配方复杂,工艺要求高,导致价格偏高,消费者负担加重;二是目前我国现有生产磷助剂的工厂有30余家,职工人数约有3万人,实施全面禁磷后,将会导致至少2万人的失业问题,影响工

业产值达 20 亿元;三是生产无磷洗涤剂的最佳助剂替代品 4A 沸石生产量较小,若增加年产量至 40 万吨,需投资 20 亿元左右,对企业来说压力不小。

第三,禁磷工作要因地制宜。我国是贫磷国家,在广大的农村地区,土壤的含磷量均没有达到农业种植的基本要求,因此,在农村继续使用含磷洗涤剂还有利于土壤增加肥力防止土质贫化板结。而且,农村的生活污水一般都为土壤所吸收,不可能出现磷富营养化的污染问题。

另外,我国与其他国家相比,除了洗涤习惯上的不同外,在代磷方面,日本的有利条件是水的硬度低,欧洲的有利条件是高温与低浴化(即高的洗涤剂浓度抵消了其高硬度的缺点),而我国北方地下水硬度很高,洗涤剂中的代磷助剂还远远不能满足消除水中硬度离子的要求,去污能力差,又易使沉积物矿化,衣物板结,手感不好。因此,有必要在推广代磷化的同时,研制低浴化、节水型的洗衣机,以节约水资源,提高去污效果。随着三大淡水湖禁、限磷措施的实施,必将促进无磷洗涤用品的消费增长需求,因此,有关部门应加快研制并积极引进优质的无磷、低磷洗涤剂或其生产技术,以适应我国禁、限磷的实行。

最重要的是,要加强对群众的宣传工作,让他们明了禁、限磷工作的深刻含义,支持政府工作并真正落实到具体行动中去。

总之,为了适应环境保护的要求,在禁、限磷的工作中,我们要吸取国外先进、成熟、可靠且行之有效的成功经验,针对我国的具体情况,因地制宜,切忌采取"一刀切"的方式,使我国的磷化工发展与保护水环境、防治水污染兼重并进,促进经济增长和环境保护的协调发展,逐步恢复一个优美健康的水环境。

第八章　空气污染

第一节　大气的结构与组成
(Structure and Composition of Atmosphere)

8.1.1　大气圈结构(Structure of Atmosphere)

由于地心引力而随地球旋转的大气层叫作大气圈。大气圈的厚度由地表至1000～1400km,其总质量约6000万亿吨,为地球质量的百万分之一。就整个地球来说,愈靠近核心,组成物质的密度就愈大。大气圈是地球的一部分,若与地球的固体部分相比较,密度要比地球的固体部分小得多;以大气圈的高层和低层相比较,高层的密度比低层要小得多,而且越高越稀薄。假如把海平面上的空气密度作为1,那么在240km的高空,大气密度只有它的一千万分之一;到了1600km的高空就更稀薄了,只有它的一千万亿分之一。整个大气圈质量的90%都集中在高于海平面16km以内的空间里。再往上去当升高到比海平面高出80km的高度,大气圈质量的99.999%都集中在这个界限以下,而所剩无几的大气却占据了这个界限以上的极大的空间。

探测结果表明,地球大气圈的顶部并没有明显的分界线,而是逐渐过渡到星际空间的。高层大气稀薄的程度虽说比人造的真空还要"空",但是在那里确实还有气体的微粒存在,而且比星际空间的物质密度要大得多,然而,它们已不属于气体分子了,而是原子及原子再分裂而产生的粒子。以80～100km的高度为界,在这个界限以下的大气,尽管有稠密稀薄的不同,但它们的成分大体是一致的,都是以氮和氧分子为主,这就是我们周围的空气。而在这个界限以上,到1000km上下,就变得以氧为主了;再往上到2400km上下,就以氦为主;再往上,则主要是氢;在3000km以上,便稀薄得和星际空间的物质密度差不多了。

自地球表面向上,大气层延伸得很高,可到几千千米的高空。根据人造卫星探测资料的推算,在2000～3000km的高空,地球大气密度便达到每立方厘米一个微观粒子这一数值,和星际空间的密度非常相近,这样2000～3000km的高空可以大致看作是地球大气的上界。

整个地球大气层像是一座高大的而又独特的"楼房",按其成分、温度、密度等物理性质在垂直方向上的变化,世界气象组织把这座"楼"分为五层,自下而上依次是:对流层、平流层、中间层、暖层和散逸层,如图8.1所示。

对流层是紧贴地面的一层,它受地面的影响最大。因为地面附近的空气受热

图 8.1 大气垂直方向的分层

上升,而位于上面的冷空气下沉,这样就发生了对流运动,所以把这层叫做对流层。它的下界是地面,上界因纬度和季节而不同。据观测,在低纬度地区其上界为17～18km;在中纬度地区为 10～12km;在高纬度地区仅为 8～9km。夏季的对流层厚度大于冬季。以南京为例,夏季的对流层厚度达 17km,而冬季只有 11km,冬夏厚度之差达 6km 之多。

在对流层的顶部,直到高于海平面 50～55km 的这一层,气流运动相当平衡,而且主要以水平运动为主,故称为平流层。

平流层之上,到高于海平面 85km 高空的一层为中间层。这一层大气中,几乎没有臭氧,这就使来自太阳辐射的大量紫外线白白地穿过了这一层大气而未被吸收,所以,在这层大气里,气温随高度的增加而下降的很快,到顶部气温已下降到 -83℃以下。由于下层气温比上层高,有利于空气的垂直对流运动,故又称之为高空对流层或上对流层。中间层顶部尚有水汽存在,可出现很薄且发光的"夜光云",在夏季的夜晚,高纬度地区偶尔能见到这种银白色的夜光云。

从中间层顶部到高出海面 800km 的高空,称为暖(热)层,又叫电离层。这一层空气密度很小,在 700km 厚的气层中,只含有大气总质量的 0.5%。据探测,在 120km 高空,声波已难以传播;270km 高空,大气密度只有地面的一百亿分之一,所以在这里即使在你耳边开大炮,也难听到什么声音。暖层里的气温很高,据人造卫星观测,在 300km 高度上,气温高达 1000℃以上。所以这一层叫做暖层或者热层。

暖层顶以上的大气统称为散逸层,又叫外层。它是大气的最高层,高度最高可达到 3000km。这一层大气的温度也很高,空气十分稀薄,受地球引力场的约束很弱,一些高速运动着的空气分子可以挣脱地球的引力和其他分子的阻力散逸到宇宙空间中去。根据宇宙火箭探测资料表明,地球大气圈之外,还有一层极其稀薄的电离气体,其高度可伸延到 22 000km 的高空,称之为地冕。地冕也就是地球大气向宇宙空间的过渡区域。人们形象地把它比作是地球的"帽子"。

此外,还可以把整个大气看成是一座别致的"两层小楼"。这种"两层楼"的设计又是以大气的不同特征为根据的。

第一,按着大气的化学成分来划分。这种划分是以距海平面 90km 的高度为界限的。在 90km 高度以下,大气是均匀地混合的,组成大气的各种成分相对比例不随高度而变化,这一层叫做均质层。在 90km 高度以上,组成大气的各种成分的相对比例,是随高度的升高而发生变化的,比较轻的气体如氧原子、氦原子、氢原子等越来越多,大气就不再是均匀的混合了,因此,把这一层叫做非均质层。

第二,是按着大气被电离的状态来划分,可分为非电离层和电离层。在海平面以上 60km 以内的大气,基本上没有被电离处于中性状态,所以这一层叫非电离层。在 60km 以上至 1000km 的高度,这一层大气在太阳紫外线的作用下,大气成分开始电离,形成大量的正、负离子和自由电子,所以这一层叫做电离层,这一层对于无线电波的传播有着重要的作用。

8.1.2　大气组成(Composition of Atmosphere)

大气的组分包括混合气体、水汽和悬浮颗粒。除去水汽和微粒之外的成分组成的混合物称为干洁空气,其主要成分是氮、氧和氩(共占干洁空气总容积的 99.96% 以上)以及二氧化碳、氖、氦、氪、氙、氢和臭氧等。表 8.1 列出了干洁空气的组成。

由于空气的垂直运动、水平运动以及分子扩散,使得干洁空气的组成比例直到

表 8.1　干洁空气的组成

气体类别	含量(容积百分数)/ %	气体类别	含量(容积百分数)/ %
氮	78.09	氪	1.0×10^{-4}
氧	20.95	氢	0.5×10^{-4}
氩	0.93	氙	0.08×10^{-4}
二氧化碳	0.03	臭氧	0.01×10^{-4}
氖	18×10^{-4}		
氦	5.24×10^{-4}	干洁空气	100

90～100km 的高度还基本保持不变。也就是说,在人类经常活动的范围内,任何地方干洁空气的物理性质是基本相同的。

水汽在大气中含量很少,但变化很大,其变化范围在 0～4% 之间,水汽绝大部分集中在低层,有一半的水汽集中在 2 千米以下,四分之三的水汽集中在 4 千米以下,10～12 千米高度以下的水汽约占全部水汽总量的 99%。水汽是天气变化的主要角色,并能强烈地吸收地表发出的长波辐射,也能放出长波辐射,水汽的蒸发和凝结又能吸收和放出潜热,这都直接影响到地面和空气的温度,影响到大气的运动和变化。大气中除了气体成分以外,还有很多的液体和固体杂质、微粒。它们聚集在一起,直接影响大气的能见度。它们能充当水汽凝结的核心,加速大气中成云致雨的过程;吸收部分太阳辐射,又能削弱太阳直接辐射和阻挡地面长波辐射,对地面和大气的温度变化产生了一定的影响。

当大气中的某组分含量增加,或者出现新的物质的时候,我们认为发生了大气污染。一般不把水看作污染物。

第二节　大气污染及其来源
(Air Pollution and Its Source)

8.2.1　大气污染(Air Pollution)

在干洁的大气中,痕量气体的组成是微不足道的。但是在一定范围的大气中,出现了原来没有的微量物质,其数量和持续时间,都有可能对人、动物、植物及物品、材料产生不利影响和危害。当大气中污染物质的浓度达到有害程度,以至破坏生态系统和人类正常生存和发展的条件,对人或物造成危害的现象叫做大气污染。

国际标准化组织(ISO)对于大气污染的定义是:“由于人类活动和自然过程引起某种物质进入大气中,呈现出足够的浓度达到足够的时间,并因此而危害了人体的健康、舒适和福利或危害了环境的现象。”

按照大气污染的范围来分,大致可分为四类:

①局限于小范围的大气污染,如受到某些烟囱排气的直接影响。

②涉及一个地区的大气污染,如工业区及其附近地区或整个城市大气受到污染。

③涉及到比一个城市更广泛地区的广域污染。

④必须从全球范围考虑的全球性污染,如温室效应和臭氧层破坏等。

考虑到室内空气污染近年来越来越引起人们的关注,而室内空气不属于大气的范围,可以说空气污染可以分为以上四类,或者可分为微观(micro)、中型(meso)和宏观(macro)三种规模。

8.2.2　大气污染物(Air Pollutants)

大气污染物系指由于人类活动或自然过程排入大气并对人或环境产生有害影响的物质。大气污染物的种类很多,按其存在状态可概括为两大类:气溶胶状态污染物和气体状态污染物。

1. 气溶胶状态污染物

在大气污染中,气溶胶指固体粒子、液体粒子或它们在气体介质中的悬浮体。从大气污染控制的角度,按照气溶胶的来源和物理性质,可将其分为以下几种:

①粉尘。粉尘系指悬浮于气体介质中的小固体粒子,能因重力作用发生沉降,但在某一段时间内能保持悬浮状态。它通常是由于固体物质的破碎、研磨、分级、输送等机械过程,或者土壤、岩石的风化等自然过程形成的。粒子的形状往往是不规则的,粒子的尺寸范围一般为 1～200μm 左右。属于粉尘类的大气污染物很多,如黏土粉尘、石英粉尘、煤粉、水泥粉尘、各种金属粉尘等。

②烟。烟一般指由冶金过程形成的固体粒子的气溶胶。它是由熔融物质挥发后生成的气态物质的冷凝物,在生成过程中总是伴有诸如氧化之类的化学反应。烟的粒子尺寸很小,一般为 0.01～1μm 左右。产生烟是一种较为普遍的现象,如有色金属冶炼过程中产生的氧化铅烟、氧化锌烟,在核燃料后处理厂中的氧化钙烟等。

③飞灰。飞灰是指随燃料燃烧产生的烟气飞出的分散得较细的灰分。

④黑烟。黑烟一般指由燃料燃烧产生的能见气溶胶。

在实际工作中,粉尘、烟、飞灰、黑烟等小固体粒子气溶胶的界限很难明显区分,根据我国的习惯,一般将冶金过程或化学过程形成的固体粒子气溶胶称为烟尘;将燃料燃烧过程产生的飞灰和黑烟,在不需仔细区分时,也称为烟尘。在其他情况,或泛指小固体粒子的气溶胶时,则通称粉尘。

⑤雾。雾是气体中液滴悬浮体的总称。在气象中指造成能见度小于 1km 的小水滴悬浮体。在工程中,雾一般泛指小液体粒子悬浮体,它可能是由于液体蒸气的凝结、液体的雾化及化学反应等过程形成的,如水雾、酸雾、碱雾、油雾等。

在大气污染控制中,还根据大气中的粉尘(或烟尘)颗粒的大小,将其分为飘尘、降尘和总悬浮微粒。

①飘尘。飘尘指大气中粒径小于 10μm 的固体颗粒。它能较长期地在大气中飘浮,有时也称浮游粉尘。

②降尘。降尘指大气中粒径大于 10μm 的固体颗粒。在重力作用下它可在较短时间内沉降到地面。

③总悬浮微粒(TSP)。总悬浮微粒系指大气中粒径小于 100μm 的所有固体

颗粒。

2 气体状态污染物

气体状态污染物是以分子状态存在的污染物,简称气态污染物。气态污染物的种类很多,大部分为无机气体。气态污染物种类很多,主要有 5 类:含硫化合物、含氮化合物、碳氧化合物、碳氢化合物及卤素化合物。

气态污染物可分为一次污染物和二次污染物。一次污染物是指直接从污染源排到大气中的原始污染物质;二次污染物是指由一次污染物与大气中已有组分或几种一次污染物之间经过一系列化学反应或光化学反应而生成的与一次污染物性质不同的新污染物质。

(1) 含硫化合物

含硫的气态污染物主要是 SO_2,它是目前大气污染物中数量较大、影响面较广的一种气态污染物。大气中 SO_2 的来源很广,几乎所有工业企业都可能产生。在排放 SO_2 的各种过程中,约有 96% 来自燃料燃烧过程,其中火电厂排烟中的 SO_2 浓度虽然较低,但总排放量却最大。

硫酸烟雾是大气中的 SO_2 等硫化物,在有水雾、含有重金属的飘尘或氮氧化物存在时,发生一系列化学反应或光化学反应而生成的硫酸雾或硫酸盐气溶胶。硫酸烟雾是一种二次污染物,它引起的刺激作用和生理反应等危害要比 SO_2 气体强烈得多。

(2) 氮氧化合物

氮和氧的化合物有 N_2O、NO、NO_2、N_2O_3、N_2O_4 和 N_2O_5,作为一个整体以氮氧化物(NO_x)表示。人类活动产生的 NO_x 主要来自机动车和柴油机的排气以及化工生产中的硝酸生产、硝化过程、炸药生产及金属表面处理等过程。其中的大气污染物主要是 NO 和 NO_2。NO 进入大气后可被缓慢地氧化成 NO_2,当大气中有 O_3 等强氧化剂存在时,或在催化剂作用下,其氧化速度会加快。NO_2 的毒性约为 NO 的 5 倍。当 NO_2 参与大气中的光化学反应形成光化学烟雾后,其毒性更强。

光化学烟雾是在阳光照射下,大气中的氮氧化物、碳氢化合物和氧化剂之间发生一系列光化学反应而生成的蓝色烟雾(有时带些紫色或黄褐色),其主要成分有臭氧、过氧乙酰基硝酸酯、酮类和醛类等。光化学烟雾是一种二次污染物,其刺激性和危害要比一次污染物强烈得多。

(3) 碳氧化合物

CO 和 CO_2 是各种大气污染物中发生量最大的一类污染物,主要来自燃料燃烧和机动车排气。CO 是一种窒息性气体,排入大气后由于大气的扩散稀释作用和氧化作用,一般不会造成危害。CO_2 是无毒气体,但当其在大气中的浓度过高时,能产生温室效应,使全球气温逐渐升高,生态系统和气候发生变化。因此 CO_2 被称

为温室气体。

(4) 碳氢化合物

碳氢化合物又称为烃,主要来自燃料燃烧和机动车排气,其中的多环芳烃(PAH),如蒽、苯并芘和苯并蒽,多数具有致癌作用,特别是苯并(a)芘是强致癌物质,被作为大气受 PAH 污染的依据。近年来,随着有机合成工业和石油化学工业的迅速发展,大气中的有机物日益增多。这些有机物可能对人体健康造成严重危害,甚至是致癌、致畸、致突变的三致物质。此外,前面已经提到,碳氢化物还参与大气中的光化学反应,生成危害性更大的光化学烟雾。

(5) 卤素化合物

在卤素化合物中氟(F)与氟化氢(HF)、氯(Cl)与氯化氢(HCl)等是主要污染大气的物质,它们都有较强的刺激性、很大的毒性和腐蚀性,氟化氢甚至可以腐蚀玻璃。卤素化合物一般是在工业生成中排放出来的。如氯碱厂液氯生产排出的废气中,就含有 20 % ～50 % 的氯气;又如提取金属钛时排出的废气中也含有 12 % ～35 % 的氯。氯在潮湿的大气中,容易形成溶胶状的盐酸雾粒子,这种酸雾有较强的腐蚀性。冶金工业中电解铝和炼钢、化学工业中生产磷肥和含氟塑料时都要排放出大量的氟化氢和其他氟化物。这些化合物,大都是毒性很大的化合物。人类在工业生产中和生活中大量使用氟氯烃,逃逸的氟氯烃气体是造成臭氧层破坏的罪魁祸首。

其他的大气污染物还有铅、臭氧、二癸英和氟化物等。

铅指存在于总悬浮颗粒物中的铅及其化合物,主要来源于汽车排出的废气、铅锌冶炼厂。铅进入人体,可大部分蓄积于人的骨骼中,损害骨骼造血系统和神经系统。

臭氧主要是从汽车和工厂释放出的氮氧化物在太阳光照射下与氧气反应生成。臭氧虽然在高空中有过滤太阳紫外线的作用,但在大气层的低处,臭氧却十分有害。

二癸英由焚烧垃圾和含氯塑料产生。它在极低的浓度下就能使鱼类、鸟类和其他动物发生畸变或死亡,并且对人有强致癌作用。

氟化物指以气态或颗粒态存在的无机氟化物。主要来源于含氟产品的生产、磷肥厂、钢铁厂、铝冶炼厂等工业生产过程。氟化物对眼睛及呼吸器官有强烈刺激,吸入高浓度氟化物气体时,可引起肺水肿和支气管炎。长期吸入低浓度的氟化物气体,会引起慢性中毒和氟骨症,使骨骼中的钙质减少,导致骨质硬化和骨质疏松。

8.2.3　大气污染物的来源(Source of Air Pollutants)

大气中的污染物来源之一是某些自然现象和自然因素,例如火山爆发和海洋排放等。但是更主要的来源是由人类活动引起的,并且这类大气污染随着人类现代化的进程而日益增多。人类活动排放源又可分为固定源和流动源,其中固定源

是指人类的燃料燃烧、工业生产过程和农业生产活动,流动源主要是指交通运输。

根据我国 1981 年对烟尘、SO_2、NO_x和 CO 四种主要大气污染物发生量的统计表明,燃料燃烧、工业生产过程和机动车产生的大气污染物所占的比例分别约为 70 %、20 % 和 10 %,煤的直接燃烧是我国大气污染物的主要来源。据统计,1990 年全国煤炭消耗量 10.52 亿吨,到 1995 年煤炭消耗量增至 12.8 亿吨,二氧化硫排放量达 2232 万吨,超过欧洲和美国,居世界首位。1997 年,二氧化硫排放总量为 2346 万吨,比 1995 年增加 114 万吨,烟尘排放总量为 1873 万吨,比 1995 年减少 111 万吨。由于我国部分地区燃用高硫煤,燃煤设备未能采取脱硫措施,致使二氧化硫排放量不断增加,造成严重的环境污染。如不严格控制,到 2000 年我国煤炭消耗量增长到 15 亿吨时,二氧化硫排放量将达 2730 万吨。

但是,从近几年城市大气环境质量监测结果来看,虽然煤烟型大气污染源的治理取得了显著的效果,但城市大气环境整体质量却没有得到明显的改善,有些指标的监测结果还呈递增趋势,说明大气污染源的结构在发生变化。以上海为例,1995 年,上海市中心城区内机动车 CO、碳氢化物和氮氧化物排污负荷分别约占该区域内机动车和固定源排放总量的 76 %、93 % 和 44 %。如不采取措施,到 2010 年,机动车排污分担率将进一步上升至 94 %、98 % 和 75 %。北京市也面临类似的情况。北京市拥有各类汽车 1987 年为 42 万辆,1997 年已超过 120 万辆,10 年间增加两倍。这些汽车给北京市的环境造成了严重的污染。现在大气中有害物浓度是 1987 年的十几倍,主要污染物是:一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、可吸入颗粒物、碳氢化合物,苯并(a)芘和铅等。尤其是含有较高浓度的苯并(a)芘和铅,对人体健康危害极大。监测分析表明,机动车辆排气型污染已代替煤烟型污染,成为城市主要大气污染源,并且这一趋势还将继续发展。

第三节 空气污染物的不良效应
(Adverse Effect of Air Pollutants)

空气污染物的不良效应大致可归结为对材料的影响、对植物的影响、对人体健康的影响和对气候的影响等。以下就这几个方面分别加以说明。

8.3.1 空气污染物对材料的影响(Effect of Air Pollutants on Materials)

空气污染造成材料破坏的机制有五种,分别为磨损、沉积和洗除、直接化学破坏、间接化学破坏和电化学腐蚀。

较大的固体颗粒在材料表面高速运动会引起材料的表面磨损。除了暴风雨中的固体颗粒和从武器射击排出的铅粒,一般大多数空气污染物的颗粒或是尺寸太小,或是运动度不够快,所以不易造成材料表面的磨损。

沉积在材料表面的小液滴和固体颗粒会导致一些纪念碑和建筑物美学价值的破坏。例如空气中过量的二氧化硫会使大理石的雕刻产生变化而剥落,破坏古迹。对于大部分的材料,表面清洗都会引起损伤。

溶解和氧化还原反应导致直接化学破坏,通常水为反应介质。二氧化硫及三氧化硫在有水存在时,与石灰石($CaCO_3$)反应生成石膏($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)和硫酸钙,而硫酸钙和石膏比碳酸钙易溶于水,易被雨水溶解。硫化氢使银变黑是一典型的氧化还原反应。

当污染物被吸附在材料表面并且形成破坏性化合物时,则发生对材料的间接化学破坏。产生的破坏性化合物可能是氧化剂、还原剂或溶剂。这些化合物会破坏材料晶格中的化学键因而具有破坏性。皮革在吸收二氧化硫之后变碎,是因为皮革中少量的铁会催化二氧化硫形成硫酸。纸张也有类似的现象发生。

氧化还原反应会使金属材料表面存在局部的化学及物理变化,而这些变化导致金属表面形成微观的阳极和阴极,这些微电极的电位差的存在,导致电化学腐蚀发生。

8.3.2　空气污染物对植物的影响(Effect of Air Pollutants on Plants)

臭氧会伤害栅状细胞,引起叶绿体凝缩,最后导致细胞壁破裂。这时可以观察到在叶片表面形成红棕色斑点,并且数天后变成白色,该白点称为白斑点。臭氧在有阳光的正午时伤害力最大,因为此时保护细胞可能打开,允许污染物进入叶片中。

植物连续暴露在 0.5μL/L 的二氧化氮下,其生长会受到抑制。二氧化氮浓度超过 2.5μL/L 且暴露时间超过 4h,会使植物产生枯斑,即由于质壁分离或失去原生质而产生的表面斑点。

二氧化硫也会使植物产生黑斑症,且所需浓度更低,只要在二氧化硫浓度为 0.3μL/L 下暴露 8h 就足以使植物致病。在更低浓度下暴露更长时间,将使植物产生萎黄病。长远而言,会破坏植物的细胞膜组织和根部,引致养分流失,提早枯萎。

空气污染物对植物所造成的伤害不仅仅是使其叶片表观发生改变,如产生斑点,还会使叶面的表面积缩小、生长迟缓、果实变小。对于经济作物,这些伤害会造成减产,使农民的收入减少。对于其他植物,则可能使植物提早死亡。

植物表面氟的沉积,不仅会直接伤害植物,而且会引发二次伤害效应。食草性动物可能会因食用含氟量高的食物使体内积累过量的氟,牙齿上出现氟斑,以致最后脱落。

8.3.3　空气污染物对人类健康的影响(Effect of Air Pollutants on Human Health)

1. 物理污染物的影响

颗粒物侵入下呼吸道的程度主要受颗粒尺寸和呼吸速率的影响。飘尘对人体

的危害作用就取决于飘尘的粒径、硬度、溶解度和化学成分以及吸附在尘粒表面上的各种有害气体和微生物等。5～10μm 的颗粒被鼻毛遮蔽,打喷嚏有助于这个遮蔽过程。1～2μm 范围大小的颗粒可浸透入肺泡,这些颗粒不被遮蔽并沉积在上呼吸道。直径 0.5μm 的颗粒,由于其沉积速度太小而不能被有效地去除,因而更小的颗粒将扩散至肺泡壁。

超过 50% 的 0.1mm 粒径的粉尘会沉积在肺部。吸入含硅的粉尘更会对人体造成永久伤害。香烟尘是常见的悬浮微粒,由于粒径小,在 0.001～0.1mm 之间,因此扩散力强,在静止空气中几乎可以不沉落,不仅即时可见污染恶果,长期吸入更可以导致肺癌。

因为较大的颗粒不会被吸入肺的深部,因此美国环保局将空气质量标准中总悬浮颗粒物标准换成气体动力学直径小于 10μm 的 PM_{10} 标准。美国、巴西、德国的研究表明,微颗粒对增加呼吸系统疾病、心血管病、与癌症相关的死亡、肺炎、肺功能衰减及哮喘等,都有相当程度的影响。最近的研究工作已经转向小于 2.5μm 的颗粒,因为这种颗粒是受污染城市死亡率上升的主要原因。

2 化学污染物的影响

常见的化学污染物包括二氧化硫、二氧化氮、一氧化碳、二氧化碳、碳氢化合物、氟、氯、硫化氢、硫醇和氨等,以及光化学氧化剂、硝酸雾和硫酸雾等二次污染物。

成年人每天约吸入 10～12 m^3 空气,大气中的有害化学物质一般是通过呼吸道进入人体的。也有少数的有害化学物质经消化道或皮肤进入人体。大气污染对健康的影响,取决于大气中有害物质的种类、性质、浓度和持续时间,也取决于人体的敏感性。有害气体在化学性质、毒性和水溶性等方面的差异,也会造成危害程度的差异。另外,呼吸道各部分的结构不同,对毒物的阻留和吸收也不尽相同。一般说,进入愈深,面积愈大,停留时间愈长,吸收量也愈大。成年人肺泡总面积约为 55～70 m^2,而且布满毛细血管。因此毒物能很快被肺泡吸收并由血液送至全身,不经过肝脏的转化就起作用,所以毒物由呼吸道进入机体的危害最大。

大气中化学污染物的浓度一般比较低,对居民主要产生慢性毒作用。但在某些特殊条件下,如工厂发生事故,使大量污染物骤然排出,或气象条件突然改变(如出现无风,逆温,发雾天气),或地理位置特殊(如地处山谷,盆地等),使大气中有害物质不易扩散,这时有害物质的浓度便会急剧增加,引起居民急性中毒,或使原来患有呼吸道慢性疾病和心脏病的居民病情恶化或死亡。

直接刺激呼吸道的有害化学物质(如二氧化硫,硫酸雾,氯气,臭氧等)被吸入后,首先刺激上呼吸道黏膜表层的迷走神经末梢,引起支气管反射性收缩和痉挛、咳嗽、喷嚏和气道阻力增加。在毒物的慢性作用下,呼吸道的抵抗力会逐渐减弱,诱发慢性呼吸道疾病,严重的还可引起肺水肿和肺心性疾病。流行病学调查资料

表明,城市大气污染是慢性支气管炎、肺气肿和支气管哮喘等疾病的直接原因或诱因。大气污染严重的地区,呼吸道疾病总死亡率和发病率都高于轻污染区。慢性支气管炎症状随大气污染程度的增高而加重。

(1) 一氧化碳

大气中的无刺激性有害气体,由于不能为人体感官所觉察,危害性比刺激性气体还要大,一氧化碳就是这样一种无色、无味的气体。一氧化碳通过呼吸道进入血液,可形成碳氧血红蛋白,造成低血氧症,使组织缺氧,影响中枢神经系统和酶的活动,出现头晕、头痛、恶心、乏力,严重时会昏迷致死。

(2) 二氧化硫

空气中二氧化硫的主要危害是刺激和腐蚀呼吸道黏膜,引起炎症和气道阻力增加,继续不断作用会导致慢性鼻咽炎,慢性气管炎等。二氧化硫会刺激眼部,引起红筋。值得注意的是,当二氧化硫被颗粒物吸附时,对下呼吸道的影响是产生增效作用。没有附着于颗粒上的二氧化硫会被上呼吸道的黏膜吸附。根据世界卫生组织资料,居民长期接触接近年平均浓度超过 100μg/ m^{3}的烟尘和二氧化硫或短期接触日平均浓度超过 250μg/ m^{3}的烟尘和二氧化硫,能促使呼吸系统疾病加重,患者病情恶化。从我国全球大气监测资料分析,北方几个城市(沈阳,北京等)居民区大气飘尘年平均超过 400μg/ m^3,二氧化硫为 100μg/ m^{3}左右;冬季飘尘日平均浓度超过 500μg/ m^3,二氧化硫约为 250μg/ m^3,均明显地超过或相当于引起呼吸系统疾病患者恶化水平。

(3) 硫酸雾和酸雨

大气中二氧化硫可被氧化成硫酸雾,随飘尘直接进入肺泡。它的危害作用比二氧化硫强 10 倍。由二氧化硫排放引起的酸雨污染范围不断扩大,已由 20 世纪 80 年代初的西南局部地区,扩展至西南,华中,华南和华东的大部分地区,目前年均降水 pH 低于 5.6 的地区已占全国面积的 40 % 左右。酸雨和二氧化硫污染危害居民健康,腐蚀建筑材料,破坏生态系统,造成了巨大经济损失,每年多达 200 多亿元,已成为制约社会经济发展的重要因素之一。

(4) 二氧化氮

暴露在二氧化氮浓度超过 5μl/ L 的空气中 15 min,将导致咳嗽及呼吸道疼痛,持续暴露在这样的空气中将造成肺水肿。二氧化氮气体浓缩时为红棕色,在较低的浓度时则呈黄棕色。浓度为 5μl/ L 时,二氧化氮气体具有刺激性甜味。在烟草燃烧中产生的二氧化氮平均浓度大约为 5μl/ L。大约 0.1μl/ L 的二氧化氮浓度,即可使呼吸道疾病加重并使肺功能衰减。

(5) 光化学氧化物

光化学氧化物包括过氧乙酰硝酸盐(PAN)、丙烯醛、过氧苯甲酰硝酸盐(PBzN)、醛、氮氧化物及主要的氧化物——臭氧。臭氧常用作表示氧化物总量的

指标。当氧化物浓度超过 0.1μl/ L 时,会对眼睛造成刺激。当浓度为 0.3μl/ L 时,会引起咳嗽及胸部不适。患有慢性呼吸道疾病的人更容易有上述症状。

(6) 有害空气污染物

在城市特别是某些工厂附近的大气中,还含有潜在危害的化学物质,如镉、铍、锑、铅、镍、铬、锰、汞、砷、氟化物、石棉、有机氯杀虫剂等。它们虽然浓度很低,但可在体内逐渐蓄积。大气中的这些有毒污染物还可降落在农作物上、水体中和土壤内,然后被农作物吸收并富集于蔬菜、瓜果和粮食中,通过食物和饮水也能在人体内蓄积,造成慢性中毒。这些物质对机体的危害在短期内并不明显,但经过长期蓄积,也会引起远期效应,影响神经系统、内脏功能和生殖、遗传等。例如,铍会导致肺脏疾病且影响肝脏、脾脏、肾脏及淋巴腺等器官;汞伤害大脑、肾脏及肠等器官。

大气中某些有害化学物质还具有致癌作用。它们大部分是有机物,如多环芳烃及其衍生物,小部分是无机物,如砷、镍、铍、铬等。在严重污染城市的大气烟尘和汽车废气中,可检出 30 多种多环芳烃组分,其中苯并(a)芘的存在比较普遍,致癌性也最强。20 世纪 50 年代以来,各国城市居民的肺癌发病率和死亡率都在逐渐增高,而且显著高于农村,有的已超过胃癌、肝癌、宫颈癌而上升为第一位。英美各国流行病学调查资料表明,城市大气中的苯并(a)芘浓度或煤烟量与肺癌死亡率有明显的相关性。美国公共卫生署已作出吸烟与肺癌有关的结论。

(7) 铅

根据汽油的添加剂是否含有铅,将汽油分为含铅汽油和无铅汽油两大类。含铅汽油的汽车尾气中含有铅,它是一种有毒有害的重金属,扩散到大气中能随呼吸道进入人体影响身体健康。多年来的大量研究表明,铅对人体的影响是全身性的,多系统的。对神经、血液和造血,消化、泌尿、生殖、心血管、内分泌、免疫等系统以及儿童的身体发育均有毒性作用,其中神经系统和血液-造血系统对铅最敏感。随着我国经济发展和城市化加速,机动车辆高倍数增加,环境铅污染已成为影响儿童生长发育的重要因素。铅能够影响儿童的智力发育,有人估计血铅每升高 10μg/ L,智商平均下降 0.25。同时幼年时低水平的铅接触与儿童及青少年时期的神经行为方面的缺陷有关,应引起全社会和家长的高度重视。

(8) 氟

氟化物对眼睛及呼吸器官有强烈刺激,吸入高浓度氟化物气体时,可引起肺水肿和支气管炎。长期吸入低浓度的氟化物气体,会引起慢性中毒和氟骨症,使骨骼中的钙质减少,导致骨质硬化和骨质疏松。

3. 放射性污染物

大气中的放射性物质主要来自核爆炸产物。一些微小的放射性灰尘能悬浮在大气中很多年。放射性矿物的开采和加工、放射性物质的生产和应用,也能造成对

空气的污染。污染大气起主要作用的是半衰期较长的放射性元素,如铀的裂变产物,其中重要的是^{90}Sr和^{137}Cs。放射性元素在体外,对机体有外照射作用;通过呼吸道进入机体,则有内照射作用。放射性物质在肺中的浓度,通常比在其他器官中大,因而肺组织一般受到较强的照射。肺部的巨噬细胞,在吞噬了放射性微粒以后,可形成电离密度相当高的放射源。进入肺中的放射性物质能十分迅速地散布到全身。除核爆炸地区外,大气中的放射性物质,一般不会造成急性放射病,但长时间超过容许范围的小剂量外照射或内照射,也能引起慢性放射病或皮肤慢性损伤。大气中放射性物质对人体更重要的影响是远期效应,包括引起癌变、不育和遗传的变化或早死等。

4. 生物性污染物

大气中的生物性污染物是一种空气变应原,主要有花粉和一些霉菌孢子。这些由空气传播的物质,能在个别人身上引起过敏反应。空气变应原可诱发鼻炎、气喘、过敏性肺部病变。另一种是病原微生物。抵抗力较弱的病原微生物在日光照射、干燥的条件下,很容易死亡,一般空气中,数量很少。抵抗力较强的病原微生物,如结核杆菌、炭疽杆菌、化脓性球菌,能附着在尘粒上污染大气。

8.3.4　空气污染物对气候的影响(Effect of Air Pollutants on Climates)

二氧化碳等温室气体在大气中的含量增加,引起地球表面气温上升,有可能导致极地或高山上的冰川融化,海平面上升,低洼地带水浸。此外,温室气体导致的全球气候变暖可能使农业和自然生态发生难以预料的变化。

气溶胶状态污染物会导致能见度降低。

第四节　空气质量标准
(Air Quality Standard)

空气质量标准包括环境空气质量标准(旧称大气环境质量标准)、大气污染物排放标准和大气污染物控制技术标准等等。此外,空气污染指数是近年来采用的一种反映和评价空气质量的方法。

8.4.1　环境空气质量标准(Ambient Air Quality Standard)

制订环境空气质量标准的目的是为了改善环境空气质量,防止生态破坏,创造清洁适宜的环境,保障人体健康和正常生活条件。其制订原则是既要保证人体健康和维护生态系统不被破坏,满足一定环境基准的要求,又要考虑本国在一定时期内的技术水平和经济发展条件。只有综合分析多种因素,选择出最佳的方案,才能

制订出可行的大气环境质量标准。

我国环境空气质量标准的演进过程如下:

建国初期,从保护人体健康出发,制订出各类环境卫生标准。这类卫生标准是制订大气环境质量标准的重要依据。1956 年颁发《工业企业设计暂行卫生标准》。该标准是专业性的环境质量标准,虽然多年起着大气环境质量标准的作用,但只是规定出居住区及车间等局部区域和操作点处的大气质量标准。

1979 年由卫生部和国家建委颁发《工业企业卫生设计标准》,是在 1956 年标准的基础上,经多年试用修订而成的正式标准。这类卫生标准在过去的环保工作中发挥了很大作用,但应用此标准作为管理、控制或评价区域性的大气质量的依据是不适宜的。1982 年,在原国务院环境保护领导小组的领导下,由中国环境科学研究院根据我国环境保护法制订出我国第一个国家级的大气环境质量标准 GB 3095-82。该标准是依据《中华人民共和国环境保护法》及我国大气污染的状况和特性,并参照 WHO1963 年所提出的判断大气质量的四级水平而制订的。

1996 年,环境空气质量标准 GB 3095-1996 代替 GB 3095-82,从 1996 年 10 月 1 日起实施。该标准规定了环境空气质量功能区划分、标准分级、主要污染物项目和这些污染物在各个级别下的浓度限值等,是评价空气质量、制订大气污染防治规划及污染物排放标准的科学依据。新的环境空气质量标准将环境空气质量功能区分为三类:一类区为自然保护区、风景名胜区和其他需要特殊保护的地区,二类区为城镇规划中确定的居住区、商业交通居民混合区、文化区、一般工业区和农村地区,三类区为特定工业区。环境空气质量标准分为三级:一类区执行一级标准,二类区执行二级标准,三类区执行三级标准。大气环境质量标准 GBGB 3095-82,新标准在下列内容和章节有所改变:“标准名称 3.1～3.14”增加了 14 种术语的定义;“4.1～4.2”调整了分区和分级的有关内容;“5”补充和调整了污染物项目、取值时间和浓度限值;“7”增加了数据统计的有效性规定。

中华人民共和国国家标准
环境空气质量标准

Ambient air quality standard

GB 3095-1996

(代替 GB 3095-82)

国家环境保护局 1996-01-18 批准

1996-10-01 实施

前　言

根据《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国大气污染防治法》,为改善环境空气质量,防止生态破坏,创造清洁适宜的环境,保护人体健康,特制订本标准。

本标准从1996年10月1日起实施,同时代替GB 3095-82。

本标准在下列内容和章节有改变:

—标准名称;

—3.1～3.14(增加了14种术语的定义);

—4.1～4.2(调整了分区和分级的有关内容);

—5.(补充和调整了污染物项目,取值时间和浓度限值);

—7.(增加了数据统计的有效性规定)。

本标准由国家环境保护局科技标准司提出。

本标准由国家环境保护局负责解释。

1　主题内容与适用范围

本标准规定了环境空气质量功能区划分、标准分级、污染物项目、取值时间及浓度限值,采样与分析方法及数据统计的有效性规定。

本标准适用于全国范围的环境空气质量评价。

2　引用标准

GB/T 15262	空气质量	二氧化硫的测定——甲醛吸收副玫瑰苯胺分光光度法
GB 8970	空气质量	二氧化硫的测定——四氯汞盐副玫瑰苯胺分光光度法
GB/T 15432	环境空气	总悬浮颗粒物测定——质量法
GB 6921	空气质量	大气飘尘浓度测定方法
GB/T 15436	环境空气	氮氧化物的测定——Saltzman法
GB/T 15435	环境空气	二氧化氮的测定——Saltzman法
GB/T 15437	环境空气	臭氧的测定——靛蓝二磺酸钠分光光度法
GB/T 15438	环境空气	臭氧的测定——紫外光度法
GB 9801	空气质量	一氧化碳的测定——非分散红外法
GB 8971	空气质量	苯并[a]芘的测定——乙酰化滤纸层析荧光分光光度法
GB/T 15439	环境空气	苯并[a]芘的测定——高效液相色谱法
GB/T 15264	空气质量	铅的测定——火焰原子吸收分光光度法
GB/T 15434	环境空气	氟化物的测定——滤膜氟离子选择电极法
GB/T 15433	环境空气	氯化物的测定——石灰滤纸氟离子选择电极法

3　定义

1.总悬浮颗粒物(Total Suspended Particular, TSP):指能悬浮在空气中,空气动力学当量直径≤100微米的颗粒物。

2.可吸入颗粒物(Particular matter less than 10μm, PM_{10}):指悬浮在空气中,空气动力学当量直径≤10

微米的颗粒物。

3 氮氧化物(以 NO_2 计):指空气中主要以一氧化氮和二氧化氮形式存在的氮的氧化物。

4 铅(Pb):指存在于总悬浮颗粒物中的铅及其化合物。

5 苯并(a)芘(B[a]P):指存在于可吸入颗粒物中的苯并[a]芘。

6 氟化物(以 F 计):以气态及颗粒态形式存在的无机氟化物。

7 年平均:指任何一年的日平均浓度的算术均值。

8 季平均:指任何一季的日平均浓度的算术均值。

9 月平均:指任何一月的日平均浓度的算术均值。

10 日平均:指任何一日的平均浓度。

11 一小时平均:指任何一小时的平均浓度。

12 植物生长季平均:指任何一个植物生长季月平均浓度的算术均值。

13 环境空气:指人群、植物、动物和建筑物所暴露的室外空气。

14 标准状态:指温度为 273 K,压力为 101.325kPa 时的状态。

4 环境空气质量功能区的分类和标准分级

4.1 环境空气质量功能区分类

一类区为自然保护区、风景名胜区和其他需要特殊保护的地区。

二类区为城镇规划中确定的居住区、商业交通居民混合区、文化区、一般工业区和农村地区。

三类区为特定工业区。

4.2 环境空气质量标准分级

环境空气质量标准分为三级;

一类区执行一级标准;

二类区执行二级标准;

三类区执行三级标准。

5 浓度限值

本标准规定了各项污染物不允许超过的浓度限值,见表 1。

表 1 各项污染物的浓度限值

污染物名称	取值时间	浓度限值			浓度单位
		一级标准	二级标准	三级标准	
二氧化硫 SO_2	年平均	0.02	0.06	0.10	毫克/立方米(标准状态)
	日平均	0.05	0.15	0.25	
	1 小时平均	0.15	0.50	0.70	
总悬浮颗粒物 TSP	年平均	0.08	0.20	0.30	
	日平均	0.12	0.30	0.50	
可吸入颗粒物 PM_{10}	年平均	0.04	0.10	0.15	
	日平均	0.05	0.15	0.25	
氮氧化物 NO_x	年平均	0.05	0.05	0.10	
	日平均	0.10	0.10	0.15	
	1 小时平均	0.15	0.15	0.30	

续表

污染物名称	取值时间	浓度限值			浓度单位
		一级标准	二级标准	三级标准	
二氧化氮 NO_2	年平均 日平均 1小时平均	0.04 0.08 0.12	0.04 0.08 0.12	0.08 0.12 0.24	
一氧化碳 CO	日平均 1小时平均	4.00 10.00	4.00 10.00	6.00 20.00	
臭氧 O_3	1小时平均	0.12	0.16	0.20	
铅 Pb	季平均 年平均		1.50 1.00		微克/立方米 (标准状态)
苯并[a]芘 (B[a]P)	日平均		0.01		
氟化物 (F)	日平均 1小时平均		7① 20①		
	月平均 植物生长季平均	1.8② 1.2②	3.0③ 2.0③		微克/(平方分米·日)

①适用于城市地区;

②适用于牧业区和以牧业为主的半农半牧区,蚕桑区;

③适用于农业和林业区。

6　监测

6.1　采样

环境空气监测中的采样点、采样环境、采样高度及采样频率的要求,按《环境监测技术规范》(大气部分)执行。

6.2　分析方法

各项污染物分析方法,见表2。

7　数据统计的有效性规定

各项污染物数据统计的有效性规定,见表3。

8　标准的实施

8.1　本标准由各级环境保护行政主管部门负责监督实施。

8.2　本标准规定了小时、日、月、季和年平均浓度的限值,在标准实施中各级环境保护行政主管部门应根据不同目的监督其实施。

8.3　环境空气质量功能区由地级市以(含地级市)环境保护行政主管部门划分,取同级人民政府批准实施。

表 2 各项污染物分析方法

污染物名称	分析方法	来源
二氧化硫	(1) 甲醛吸收副玫瑰苯胺分光光度法 (2) 四氯汞盐副玫瑰苯胺分光光度法 (3) 紫外荧光法①	GB/ T 15262-94GB 8970-88
总悬浮颗粒物	质量法	GB/ T 15432-95
可吸入颗粒物	质量法	GB 6921-86
氮氧化物(以 NO_2计)	(1) Saltzman 法 (2) 化学发光法②	GB/ T 15436-95
二氧化氮	(1) Saltzman 法 (2) 化学发光法②	GB/ T 15435-95
臭 氧	(1) 靛蓝二磺酸钠分光光度法 (2) 紫外光度法 (3) 化学发光法③	GB/ T 15437-95 GB/ T 15438-95
一氧化碳	非分散红外法	GB 9801-88
苯并[a]芘	(1) 乙酰化滤纸层析——荧光分光光度法 (2) 高效液相色谱法	GB 9871-88 GB/ T 15439-95
铅	火焰原子吸收分光光度法	GB/ T 15264-94
氟化物(以 F 计)	(1) 滤膜氟离子选择电极法④ (2) 石灰滤纸氟离子选择电极法⑤	GB/ T 15434-95 GB/ T 15433-95

①②③分别暂用国际标准 ISO/ CD10498、ISO7996, ISO10313, 待国家标准发布后, 执行国家标准; ④用于日平均和 1 小时平均标准; ⑤用于月平均和植物生长季平均标准。

表 3 各项污染物数据统计的有效性规定

SO_2, NO_x, NO_2	年平均	每年至少有分布均匀的 144 个日均值 每月至少有分布均匀的 12 个日均值
TSP, PM_{10}, Pb	年平均	每年至少有分布均匀的 60 个日均值 每月至少有分布均匀的 5 个日均值
SO_2, NO_x, NO_2, CO	日平均	每日至少有 18 小时的采样时间
TSP, PM_{10}, B(a)P, Pb	日平均	每日至少有 12 小时的采样时间
SO_2, NO_x, NO_2, CO, O_3	1 小时平均	每小时至少有 45 分钟的采样时间
Pb	季平均	每季至少有分布均匀的 15 个日均值每月至少有分布均匀的 5 个日均值
F	月平均	每月至少采样 15 日以上
	植物生长季平均	每一个生长季至少有 70% 个月平均值
	日平均	每日至少有 12 小时的采样时间
	1 小时平均	每小时至少有 45 分种的采样时间

8.4.2　大气污染物排放标准(Air Pollutants Emission Standard)

大气污染物排放标准是以实现环境空气质量标准为目的,对污染源排入大气的污染物含量的限度。其作用是直接控制污染物的排放量,以防止大气污染。这种标准是进行净化装置设计的依据,是控制空气污染的关键,也是环境管理部门进行环境质量监督的主要依据。

制订大气污染物排放标准,特别是制订全国性的污染物排放标准,是相当复杂的。它不仅涉及到生产工艺、污染控制技术、国家经济条件,而且还与大气污染物在环境中的迁移转化、大气扩散等多种因素有关。制订污染物排放标准的原则是以空气质量标准和卫生标准为依据的。制订污染物排放标准要综合考虑控制技术的可能性、经济合理性和区域的差异性。我国的大气污染物排放标准的制订和执行是按照《中华人民共和国大气污染防治法》第七条规定进行的。

国务院环境保护行政主管部门根据国家大气环境质量标准和国家经济、技术条件制定国家大气污染物排放标准。

省、自治区、直辖市人民政府对国家大气污染物排放标准中未作规定的项目,可以制定地方排放标准;对国家大气污染物排放标准中已作规定的项目,可以制定严于国家排放标准的地方排放标准。地方排放标准须报国务院环境保护行政主管部门备案。

省、自治区、直辖市人民政府制定机动车船大气污染物地方排放标准严于国家排放标准的,须报经国务院批准。

凡是向已有地方排放标准的区域排放大气污染物的,应当执行地方排放标准。

中华人民共和国国家标准
大气污染物综合排放标准

Integrated emission standard of air pollutants

GB 16297-1996

代替 GB 3548-83、GB 4276-84、
GB 4277-84、GB 4282-84、
GB 4286-84、GB 4911-85、
GB 4912-85、GB 4913-85、
GB 4916-85、GB 4917-85、
GB J4-73 各标准中的废气部分

国家环境保护局 1996-04-12 批准

1997-01-01 实施

前　言

根据《中华人民共和国大气污染防治法》第七条的规定,制定本标准。

本标准在原有《工业"三废"排放试行标准》(GBJ4-73)废气部分和有关其他行业性国家大气污染物排放标准的基础上制定。本标准在技术内容上与原有各标准有一定的继承关系,亦有相当大的修改和变化。

本标准规定了33种大气污染物的排放限值,其指标体系为最高允许排放浓度、最高允许排放速率和无组织排放监控浓度限值。

国家在控制大气污染物排放方面,除本标准为综合性排放标准外,还有若干行业性排放标准共同存在,即除若干行业执行各自的行业性国家大气污染物排放标准外,其余均执行本标准。

本标准从1997年1月1日起实施。

下列各标准的废气部分由本标准取代,自本标准实施之日起,下列各标准的废气部分即行废除。

GBJ4-73 工业"三废"排放试行标准

GB 3548-83 合成洗涤剂工业污染物排放标准

GB 4276-84 火炸药工业硫酸浓缩污染物排放标准

GB 4277-84 雷汞工业污染物排放标准

GB 4282-84 硫酸工业污染物排放标准

GB 4286-84 船舶工业污染物排放标准

GB 4911-85 钢铁工业污染物排放标准

GB 4912-85 轻金属工业污染物排放标准

GB 4913-85 重有色金属工业污染物排放标准

GB 4916-85 沥青工业污染物排放标准

GB 4917-85 普钙工业污染物排放标准

本标准的附录A、附录B、附录C都是标准的附录。

本标准由国家环境保护局科技标准司提出。

本标准由国家环境保护局负责解释。

1 主题内容与适用范围

1.1 主题内容

本标准规定了33种大气污染物的排放限值,同时规定了标准执行中的各种要求。

1.2 适用范围

1.2.1 在我国现有的国家大气污染物排放标准体系中,按照综合性排放标准与行业性排放标准不交叉执行的原则,锅炉执行GB 13271-91《锅炉大气污染物排放标准》、工业炉窑执行GB 9078-1996《工业炉窑大气污染物排放标准》、火电厂执行GB 13223-1996《火电厂大气污染物排放标准》、炼焦炉执行GB 16171-1996《炼焦炉大气污染物排放标准》、水泥厂执行GB 4915-1996《水泥厂大气污染物排放标准》、恶臭物质排放执行GB 14554-93《恶臭污染物排放标准》、汽车排放执行GB 14761.1～14761.7～93《汽车大气污染物排放标准》、摩托车排气执行GB 14621-93《摩托车排气污染物排放标准》,其他大气污染物排放均执行本标准。

1.2.2 本标准实施后再行发布的行业性国家大气污染物排放标准,按其适用范围规定的污染源不再执行本标准。

1.2.3 本标准适用于现有污染源大气污染物排放管理,以及建设项目的环境影响评价、设计、环境保护设施竣工验收及其投产后的大气污染物排放管理。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。

GB 3095-1996 环境空气质量标准;

GB/T 16157-1996 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法。

3　定义

本标准采用下列定义：

3.1　标准状态

指温度为273K，压力为101 325Pa时的状态。本标准规定的各项标准值，均以标准状态下的干空气为基准。

3.2　最高允许排放浓度

指处理设施后排气筒中污染物任何1小时浓度平均值不得超过的限值；或指无处理设施排气筒中污染物任何1小时浓度平均值不得超过的限值。

3.3　最高允许排放速率

指一定高度的排气筒任何1小时排放污染物的质量不得超过的限值。

3.4　无组织排放

指大气污染物不经过排气筒的无规则排放。低矮排气筒的排放属有组织排放，但在一定条件下也可造成与无组织排放相同的后果。因此，在执行“无组织排放监控浓度限值”指标时，由低矮排气筒造成的监控点污染物浓度增加不予扣除。

3.5　无组织排放监控点

依照本标准附录C的规定，为判别无组织排放是否超过标准而设立的监测点。

3.6　无组织排放监控浓度限值

指监控点的污染物浓度在任何1小时的平均值不得超过的限值。

3.7　污染源

指排放大气污染物的设施或指排放大气污染物的建筑构造(如车间等)。

3.8　单位周界

指单位与外界环境接界的边界。通常应依据法定手续确定边界；若无法定手续，则按目前的实际边界确定。

3.9　无组织排放源

指设置于露天环境中具有无组织排放的设施，或指具有无组织排放的建筑构造(如车间、工棚等)。

3.10　排气筒高度

指自排气筒(或其主体建筑构造)所在的地平面至排气筒出口计的高度。

4　指标体系

本标准设置下列三项指标：

4.1　通过排气筒排放废气的最高允许排放浓度。

4.2　通过排气筒排放的废气，按排气筒高度规定的最高允许排放速率。

任何一个排气筒必须同时遵守上述两项指标，超过其中任何一项均为超标排放。

4.3　以无组织方式排放的废气，规定无组织排放的监控点及相应的监控浓度限值。该指标按照本标准第9.2条的规定执行。

5　排放速率标准分级

本标准规定的最高允许排放速率，现有污染源分一、二、三级，新污染源分为二、三级。按污染源所在的环境空气质量功能区类别，执行相应级别的排放速率标准，即：

位于一类区的污染源执行一级标准(一类区禁止新、扩建污染源，一类区现有污染源改建执行现有污染源的一级标准)；

位于二类区的污染源执行二级标准；

位于三类区的污染源执行三级标准。

6 标准值

6.1 1997 年 1 月 1 日前设立的污染源(以下简称为现有污染源)执行表 1 所列标准值。

6.2 1997 年 1 月 1 日起设立(包括新建、扩建、改建)的污染源(以下简称为新污染源)执行表 2 所列标准值。

6.3 按下列规定判断污染源的设立日期:

6.3.1 一般情况下应以建设项目环境影响报告书(表)批准日期作为其设立日期。

6.3.2 未经环境保护行政主管部门审批设立的污染源,应按补做的环境影响报告书(表)批准日期作为其设立日期。

7 其他规定

7.1 排气筒高度除须遵守表列排放速率标准值外,还应高出周围 200 米半径范围的建筑 5 米以上,不能达到该要求的排气筒,应按其高度对应的表列排放速率标准值严格 50 % 执行。

7.2 两个排放相同污染物(不论其是否由同一生产工艺过程产生)的排气筒,若其距离小于其几何高度之和,应合并视为一根等效排气筒。若有三根以上的近距排气筒,且排放同一种污染物时,应以前两根的等效排气筒,依次与第三、四根排气筒取等效值。等效排气筒的有关参数计算方法见附录 A。

7.3 若某排气筒的高度处于本标准列出的两个值之间,其执行的最高允许排放速率以内插法计算,内插法的计算式见本标准附录 B;当某排气筒的高度大于或小于本标准列出的最大或最小值时,以外推法计算其最高允许排放速率,外推法计算式见本标准附录 B。

7.4 新污染源的排气筒一般不应低于 15 米。若新污染源的排气筒必须低于 15 米时,其排放速率标准值按 7.3 的外推计算结果再严格 50 % 执行。

7.5 新污染源的无组织排放应从严控制,一般情况下不应有无组织排放存在,无法避免的无组织排放应达到表 2 规定的标准值。

7.6 工业生产尾气确需燃烧排放的,其烟气黑度不得超过林格曼 1 级。

8 监测

8.1 布点

8.1.1 排气筒中颗粒物或气态污染物监测的采样点数目及采样点位置的设置,按 GB/ T16157-1996 执行。

8.1.2 无组织排放监测的采样点(即监控点)数目和采样点位置的设置方法,详见本标准附录 C。

8.2 采样时间和频次

本标准规定的三项指标,均指任何 1 小时平均值不得超过的限值,故在采样时应做到:

8.2.1 排气筒中废气的采样

以连续 1 小时的采样获取平均值,或在 1 小时内,以等时间间隔采集 4 个样品,并计平均值。

8.2.2 无组织排放监控点的采样

无组织排放监控点和参照点监测的采样,一般采用连续 1 小时采样计平均值;

若浓度偏低,需要时可适当延长采样时间;

若分析方法灵敏度高,仅需用短时间采集样品时,应实行等时间间隔采样,采集四个样品计平均值。

8.2.3 特殊情况下的采样时间和频次

若某排气筒的排放为间断性排放,排放时间小于 1 小时,应在排放时段内实行连续采样,或在排放时段内以等时间间隔采集 2～4 个样品,并计平均值;

若某排气筒的排放为间断性排放,排放时间大于 1 小时,则应在排放时段内按 8.2.1 的要求采样;

当进行污染事故排放监测时,应按需要设置采样时间和采样频次,不受上述要求的限制;

建设项目环境保护设施竣工验收监测的采样时间和频次,按国家环境保护局制定的建设项目环境保护设施竣工验收监测办法执行。

8.3　监测工况要求

8.3.1　在对污染源的日常监督性监测中,采样期间的工况应与当时的运行工况相同,排污单位的人员和实施监测的人员都不应任意改变当时的运行工况。

8.3.2　建设项目环境保护设施竣工验收监测的工况要求按国家环境保护局制定的建设项目环境保护设施竣工验收监测办法执行。

8.4　采样方法和分析方法

8.4.1　污染物的分析方法按国家环境保护局规定执行。

8.4.2　污染物的采样方法按 GB/T16157-1996 和国家环境保护局规定的分析方法有关部分执行。

8.5　排气量的测定

排气量的测定应与排放浓度的采样监测同步进行,排气量的测定方法按 GB/T16157-1996 执行。

9　标准实施

9.1　位于国务院批准划定的酸雨控制区和二氧化硫污染控制区的污染源,其二氧化硫排放除执行本标准外,还应执行总量控制标准。

9.2　本标准中无组织排放监控浓度限值,由省、自治区、直辖市人民政府环境保护行政主管部门决定是否在本地区实施,并报国务院环境保护行政主管部门备案。

9.3　本标准由县级以上人民政府环境保护行政主管部门负责监督实施。

表 1　现有污染源大气污染物排放限值

序号	污染物	最高允许排放浓度/(mg·m³)	最高允许排放速率/kg·h				无组织排放监控浓度限值	
			排气筒/m	一级	二级	三级	监控点	浓度/(mg·m³)
1	二氧化硫	1200 (硫、二氧化硫、硫酸和其他含硫化合物生产)	15 20 30 40	1.6 2.6 8.8 15	3.0 5.1 17 30	4.1 7.7 26 45		
		700 (硫、二氧化硫、硫酸和其他含硫化合物使用)	50 60 70 80 90 100	23 33 47 63 82 100	45 64 91 120 160 200	69 98 140 190 240 310	无组织排放源上风向设参照点,下风向设监控点	0.50 (监控点与参照点浓度差值)

续表

序号	污染物	最高允许排放浓度/(mg·m³)	最高允许排放速率/(kg·h)				无组织排放监控浓度限值	
			排气筒/m	一级	二级	三级	监控点	浓度/(mg·m³)
2	氮氧化物	1700 (硝酸、氮肥和火炸药生产)	15 20 30	0.47 0.77 2.6	0.91 1.5 5.1	1.4 2.3 7.7	无组织排放源上风向设参照点,下风向设监控点	0.15 (监控点与参照点浓度差值)
		420 (硝酸使用和其他)	40 50 60 70 80 90 100	4.6 7.0 9.9 14 19 24 31	8.9 14 19 27 37 47 61	14 21 29 41 56 72 92		
3	颗粒物	22(炭黑尘、染料尘)	15 20 30 40	禁 排	0.60 1.0 4.0 6.8	0.87 1.5 5.9 10	周界外浓度最高点	肉眼不可见
		80 (玻璃棉尘、石英粉尘、矿渣棉尘)	15 20 30 40	禁 排	2.2 3.7 14 25	3.1 5.3 21 37	无组织排放源上风向设参照点,下风向设监控点	2.0 (监控点与参照点浓度差值)
		150 (其他)	15 20 30 40 50 60	2.1 3.5 14 24 36 51	4.1 6.9 27 46 70 100	5.9 10 40 69 110 150	无组织排放源上风向设参照点,下风向设监控点	5.0 (监控点与参照点浓度差值)
4	氟化氢	150	15 20 30 40 50 60 70 80	禁 排	0.30 0.51 1.7 3.0 4.5 6.4 9.1 12	0.46 0.77 2.6 4.5 6.9 9.8 14 19	周界外浓度最高点	0.25
5	铬酸雾	0.080	15 20 30 40 50 60	禁 排	0.009 0.015 0.051 0.089 0.14 0.19	0.014 0.023 0.078 0.13 0.21 0.29	周界外浓度最高点	0.0075

续表

序号	污染物	最高允许排放浓度/(mg·m³)	最高允许排放速率/(kg·h)				无组织排放监控浓度限值	
			排气筒/m	一级	二级	三级	监控点	浓度/(mg·m³)
6	硫酸雾	1000（火炸药厂）	15	禁排	1.8	2.8	周界外浓度最高点	1.5
			20		3.1	4.6		
		70（其他）	30		10	16		
			40		18	27		
			50		27	41		
			60		39	59		
			70		55	83		
			80		74	110		
7	氟化物	100（普钙工业）	15	禁排	0.12	0.18	无组织排放源上风向设参照点，下风向设监控点	20(μg/m³)（监控点与参照点浓度差值）
			20		0.20	0.31		
		11（其他）	30		0.69	1.0		
			40		1.2	1.8		
			50		1.8	2.7		
			60		2.6	3.9		
			70		3.6	5.5		
			80		4.9	7.5		
8	氯气	85	25	禁排	0.60	0.90	周界外浓度最高点	0.50
			30		1.0	1.5		
			40		3.4	5.2		
			50		5.9	9.0		
			60		9.1	14		
			70		13	20		
			80		18	28		
9	铅及其化合物	0.90	15	禁排	0.005	0.007	周界外浓度最高点	0.0075
			20		0.007	0.011		
			30		0.031	0.048		
			40		0.055	0.083		
			50		0.085	0.13		
			60		0.12	0.18		
			70		0.17	0.26		
			80		0.23	0.35		
			90		0.31	0.47		
			100		0.39	0.60		

续表

序号	污染物	最高允许排放浓度/(mg·m³)	最高允许排放速率/(kg·h)				无组织排放监控浓度限值	
			排气筒/m	一级	二级	三级	监控点	浓度/(mg·m³)
10	汞及其化合物	0.015	15 20 30 40 50 60	禁排	1.8×10^{-3} 3.1×10^{-3} 10×10^{-3} 18×10^{-3} 27×10^{-3} 39×10^{-3}	2.8×10^{-3} 4.6×10^{-3} 16×10^{-3} 27×10^{-3} 41×10^{-3} 59×10^{-3}	周界外浓度最高点	0.0015
11	镉及其化合物	1.0	15 20 30 40 50 60 70 80	禁排	0.060 0.10 0.34 0.59 0.91 1.3 1.8 2.5	0.090 0.15 0.52 0.90 1.4 2.0 2.8 3.7	周界外浓度最高点	0.050
12	铍及其化合物	0.015	15 20 30 40 50 60 70 80	禁排	1.3×10^{-3} 2.2×10^{-3} 7.3×10^{-3} 13×10^{-3} 19×10^{-3} 27×10^{-3} 39×10^{-3} 52×10^{-3}	2.0×10^{-3} 3.3×10^{-3} 11×10^{-3} 19×10^{-3} 29×10^{-3} 41×10^{-3} 58×10^{-3} 79×10^{-3}	周界外浓度最高点	0.0010
13	镍及其化合物	5.0	15 20 30 40 50 60 70 80	禁排	0.18 0.31 1.0 1.8 2.7 3.9 5.5 7.4	0.28 0.46 1.6 2.7 4.1 5.9 8.2 11	周界外浓度最高点	0.050
14	锡及其化合物	10	15 20 30 40 50 60 70 80	禁排	0.36 0.61 2.1 3.5 5.4 7.7 11 15	0.55 0.93 3.1 5.4 8.2 12 17 22	周界外浓度最高点	0.30

续表

序号	污染物	最高允许排放浓度/(mg·m³)	最高允许排放速率/(kg·h)				无组织排放监控浓度限值	
			排气筒/m	一级	二级	三级	监控点	浓度/(mg·m³)
15	苯	17	15 20 30 40	禁排	0.60 1.0 3.3 6.0	0.90 1.5 5.2 9.0	周界外浓度最高点	0.50
16	甲苯	60	15 20 30 40	禁排	3.6 6.1 21 36	5.5 9.3 31 54	周界外浓度最高点	0.30
17	二甲苯	90	15 20 30 40	禁排	1.2 2.0 6.9 12	1.8 3.1 10 18	周界外浓度最高点	1.5
18	酚类	115	15 20 30 40 50 60	禁排	0.12 0.20 0.68 1.2 1.8 2.6	0.18 0.31 1.0 1.8 2.7 3.9	周界外浓度最高点	0.10
19	甲醛	30	15 20 30 40 50 60	禁排	0.30 0.51 1.7 3.0 4.5 6.4	0.46 0.77 2.6 4.5 6.9 9.8	周界外浓度最高点	0.25
20	乙醛	150	15 20 30 40 50 60	禁排	0.060 0.10 0.34 0.59 0.91 1.3	0.090 0.15 0.52 0.90 1.4 2.0	周界外浓度最高点	0.050
21	丙烯腈	26	15 20 30 40 50 60	禁排	0.91 1.5 5.1 8.9 14 19	1.4 2.3 7.8 13 21 29	周界外浓度最高点	0.75

续表

序号	污染物	最高允许排放浓度/(mg·m³)	最高允许排放速率/(kg·h)				无组织排放监控浓度限值	
			排气筒/m	一级	二级	三级	监控点	浓度/(mg·m³)
22	丙烯醛	20	15 20 30 40 50 60	禁排	0.61 1.0 3.4 5.9 9.1 13	0.92 1.5 5.2 9.0 14 20	周界外浓度最高点	0.50
23	氯化氢	2.3	25 30 40 50 60 70 80	禁排	0.18 0.31 1.0 1.8 2.7 3.9 5.5	0.28 0.46 1.6 2.7 4.1 5.9 8.3	周界外浓度最高点	0.030
24	甲醇	220	15 20 30 40 50 60	禁排	6.1 10 34 59 91 130	9.2 15 52 90 140 200	周界外浓度最高点	15
25	苯胺类	25	15 20 30 40 50 60	禁排	0.61 1.0 3.4 5.9 9.1 13	0.92 1.5 5.2 9.0 14 20	周界外浓度最高点	0.50
26	氯苯类	85	15 20 30 40 50 60 70 80 90 100	禁排	0.67 1.0 2.9 5.0 7.7 11 15 21 27 34	0.92 1.5 4.4 7.6 12 17 23 32 41 52	周界外浓度最高点	0.50

续表

序号	污染物	最高允许排放浓度/(mg·m³)	最高允许排放速率/(kg·h)				无组织排放监控浓度限值	
			排气筒/m	一级	二级	三级	监控点	浓度/(mg·m³)
27	硝基苯类	20	15 20 30 40 50 60	禁排	0.060 0.10 0.34 0.59 0.91 1.3	0.090 0.15 0.52 0.90 1.4 2.0	周界外浓度最高点	0.050
28	氯乙烯	65	15 20 30 40 50 60	禁排	0.91 1.5 5.0 8.9 14 19	1.4 2.3 7.8 13 21 29	周界外浓度最高点	0.75
29	苯并a芘	0.50×10^{-3} (沥青、碳素制品生产和加工)	15 20 30 40 50 60	禁排	0.06×10^{-3} 0.10×10^{-3} 0.34×10^{-3} 0.59×10^{-3} 0.90×10^{-3} 1.3×10^{-3}	0.09×10^{-3} 0.15×10^{-3} 0.51×10^{-3} 0.89×10^{-3} 1.4×10^{-3} 2.0×10^{-3}	周界外浓度最高点	0.01 (μg/m³)
30	光气	5.0	25 30 40 50	禁排	0.12 0.20 0.69 1.2	0.18 0.31 1.0 1.8	周界外浓度最高点	0.10
31	沥青烟	280 (吹制沥青) 80 (熔炼、浸涂) 150 (建筑搅拌)	15 20 30 40 50 60 70 80	0.11 0.19 0.82 1.4 2.2 3.0 4.5 6.2	0.22 0.36 1.6 2.8 4.3 5.9 8.7 12	0.34 0.55 2.4 4.2 6.6 9.0 13 18	生产设备不得有明显的无组织排放存在	
32	石棉尘	2根纤维/cm³ 或20mg/m³	15 20 30 40 50	禁排	0.65 1.1 4.2 7.2 11	0.98 1.7 6.4 11 17	生产设备不得有明显的无组织排放存在	

续表

序号	污染物	最高允许排放浓度/(mg·m³)	最高允许排放速率/(kg·h)				无组织排放监控浓度限值	
			排气筒/m	一级	二级	三级	监控点	浓度/(mg·m³)
33	非甲烷总烃	150 (使用溶剂汽油或其他混合烃类物质)	15 20 30 40	6.3 10 35 61	12 20 63 120	18 30 100 170	周界外浓度最高点	5.0

表 2 新污染源大气污染物排放限值

序号	污染物	最高允许排放浓度/(mg·m³)	最高允许排放速率/(kg·h)			无组织排放监控浓度限值	
			排气筒/m	二级	三级	监控点	浓度/(mg·m³)
1	二氧化硫	960 (硫、二氧化硫、硫酸和其他含硫化合物生产)	15 20 30 40 50	2.6 4.3 15 25 39	3.5 6.6 22 38 58	周界外浓度最高点	0.40
		550 (硫、二氧化硫、硫酸和其他含硫化合物使用)	60 70 80 90 100	55 77 110 130 170	83 120 160 200 270		
2	氮氧化物	1400 (硝酸、氮肥和火炸药生产)	15 20 30 40 50	0.77 1.3 4.4 7.5 12	1.2 2.0 6.6 11 18	周界外浓度最高点	0.12
		240 (硝酸使用和其他)	60 70 80 90 100	16 23 31 40 52	25 35 47 61 78		

续表

序号	污染物	最高允许排放浓度 /（mg·m³）	最高允许排放速率/（kg·h）			无组织排放监控浓度限值	
			排气筒 / m	二级	三级	监控点	浓度 /（mg·m³）
3	颗粒物	18 （炭黑尘、染料尘）	15 20 30 40	0.15 0.85 3.4 5.8	0.74 1.3 5.0 8.5		
		60 （玻璃棉尘、石英粉尘、矿渣棉尘）	15 20 30 40	1.9 3.1 12 21	2.6 4.5 18 31	周界外浓度最高点	肉眼不可见
		120 （其他）	15 20 30 40 50 60	3.5 5.9 23 39 60 85	5.0 8.5 34 59 94 130	周界外浓度最高点	1.0
4	氟化氢	100	15 20 30 40 50 60 70 80	0.26 0.43 1.4 2.6 3.8 5.4 7.7 10	0.39 0.65 2.2 3.8 5.9 8.3 12 16	周界外浓度最高点	0.20
5	铬酸雾	0.070	15 20 30 40 50 60	0.008 0.013 0.043 0.076 0.12 0.16	0.012 0.020 0.066 0.12 0.18 0.25	周界外浓度最高点	0.0060
6	硫酸雾	430 （火炸药厂）	15 20 30 40 50 60 70 80	1.5 2.6 8.8 15 23 33 46 63	2.4 3.9 13 23 35 50 70 95		
		45 （其他）					

续表

序号	污染物	最高允许排放浓度 /(mg·m³)	最高允许排放速率/(kg·h)			无组织排放监控浓度限值	
			排气筒 /m	二级	三级	监控点	浓度 /(mg·m³)
7	氟化物	90（普钙工业）	15	0.10	0.15	周界外浓度最高点	20(μg/m³)
			20	0.17	0.26		
			30	0.59	0.88		
		9.0（其他）	40	1.0	1.5		
			50	1.5	2.3		
			60	2.2	3.3		
			70	3.1	4.7		
			80	4.2	6.3		
8	氯气	65	25	0.52	0.78	周界外浓度最高点	0.40
			30	0.87	1.3		
			40	2.9	4.4		
			50	5.0	7.6		
			60	7.7	12		
			70	11	17		
			80	15	23		
9	铅及其化合物	0.70	15	0.004	0.006	周界外浓度最高点	0.0060
			20	0.006	0.009		
			30	0.027	0.041		
			40	0.047	0.071		
			50	0.072	0.11		
			60	0.10	0.15		
			70	0.15	0.22		
			80	0.20	0.30		
			90	0.26	0.40		
			100	0.33	0.51		
10	汞及其化合物	0.012	15	1.5×10^{-3}	2.4×10^{-3}	周界外浓度最高点	0.0012
			20	2.6×10^{-3}	3.9×10^{-3}		
			30	7.8×10^{-3}	13×10^{-3}		
			40	15×10^{-3}	23×10^{-3}		
			50	23×10^{-3}	35×10^{-3}		
			60	33×10^{-3}	50×10^{-3}		
11	镉及其化合物	0.85	15	0.050	0.080	周界外浓度最高点	0.040
			20	0.090	0.13		
			30	0.29	0.44		
			40	0.50	0.77		
			50	0.77	1.2		
			60	1.1	1.7		
			70	1.5	2.3		
			80	2.1	3.2		

续表

序号	污染物	最高允许排放浓度 /(mg·m³)	最高允许排放速率/(kg·h)			无组织排放监控浓度限值	
			排气筒 /m	二级	三级	监控点	浓度 /(mg·m³)
12	铍及其化合物	0.012	15 20 30 40 50 60 70 80	1.1×10^{-3} 1.8×10^{-3} 6.2×10^{-3} 11×10^{-3} 16×10^{-3} 23×10^{-3} 33×10^{-3} 44×10^{-3}	1.7×10^{-3} 2.8×10^{-3} 9.4×10^{-3} 16×10^{-3} 25×10^{-3} 35×10^{-3} 50×10^{-3} 67×10^{-3}	周界外浓度最高点	0.0008
13	镍及其化合物	4.3	15 20 30 40 50 60 70 80	0.15 0.26 0.88 1.5 2.3 3.3 4.6 6.3	0.24 0.34 1.3 2.3 3.5 5.0 7.0 10	周界外浓度最高点	0.040
14	锡及其化合物	8.5	15 20 30 40 50 60 70 80	0.31 0.52 1.8 3.0 4.6 6.6 9.3 13	0.47 0.79 2.7 4.6 7.0 10 14 19	周界外浓度最高点	0.24
15	苯	12	15 20 30 40	0.50 0.90 2.9 5.6	0.80 1.3 4.4 7.6	周界外浓度最高点	0.40
16	甲苯	40	15 20 30 40	3.1 5.2 18 30	4.7 7.9 27 46	周界外浓度最高点	2.4
17	二甲苯	70	15 20 30 40	1.0 1.7 5.9 10	1.5 2.6 8.8 15	周界外浓度最高点	1.2

续表

序号	污染物	最高允许排放浓度 /(mg·m³)	最高允许排放速率/(kg·h)			无组织排放监控浓度限值	
			排气筒 /m	二级	三级	监控点	浓度 /(mg·m³)
18	酚类	100	15 20 30 40 50 60	0.10 0.17 0.58 1.0 1.5 2.2	0.15 0.26 0.88 1.5 2.3 3.3	周界外浓度最高点	0.080
19	甲醛	25	15 20 30 40 50 60	0.26 0.43 1.4 2.6 3.8 5.4	0.39 0.65 2.2 3.8 5.9 8.3	周界外浓度最高点	0.20
20	乙醛	125	15 20 30 40 50 60	0.050 0.090 0.29 0.50 0.77 1.1	0.080 0.13 0.44 0.77 1.2 1.6	周界外浓度最高点	0.040
21	丙烯醛	22	15 20 30 40 50 60	0.77 1.3 4.4 7.5 12 16	1.2 2.0 6.6 11 18 25	周界外浓度最高点	0.60
22	丙烯醛	16	15 20 30 40 50 60	0.52 0.87 2.9 5.0 7.7 11	0.78 1.3 4.4 7.6 12 17	周界外浓度最高点	0.40
23	氯化氢	1.9	25 30 40 50 60 70 80	0.15 0.26 0.88 1.5 2.3 3.3 4.6	0.24 0.39 1.3 2.3 3.5 5.0 7.0	周界外浓度最高点	0.024

续表

序号	污染物	最高允许排放浓度 /（mg·m³）	最高允许排放速率/（kg·h）			无组织排放监控浓度限值	
			排气筒 / m	二级	三级	监控点	浓度 /（mg·m³）
24	甲醇	190	15 20 30 40 50 60	5.1 8.6 29 50 77 100	7.8 13 44 70 120 170	周界外浓度最高点	12
25	苯胺类	20	15 20 30 40 50 60	0.52 0.87 2.9 5.0 7.7 11	0.78 1.3 4.4 7.6 12 17	周界外浓度最高点	0.40
26	氯苯类	60	15 20 30 40 50 60 70 80 90 100	0.52 0.87 2.5 4.3 6.6 9.3 13 18 23 29	0.78 1.3 3.8 6.5 9.9 14 20 27 35 44	周界外浓度最高点	0.40
27	硝基苯类	16	15 20 30 40 50 60	0.050 0.090 0.29 0.50 0.77 1.1	0.080 0.13 0.44 0.77 1.2 1.7	周界外浓度最高点	0.040
28	氯乙烯	36	15 20 30 40 50 60	0.77 1.3 4.4 7.5 12 16	1.2 2.0 6.6 11 18 25	周界外浓度最高点	0.60

续表

序号	污染物	最高允许排放浓度 /(mg·m³)	最高允许排放速率/(kg·h)			无组织排放监控浓度限值	
			排气筒 /m	二级	三级	监控点	浓度 /(mg·m³)
29	苯并a芘	0.30×10⁻³ (沥青及碳素制品生产和加工)	15 20 30 40 50 60	0.050×10⁻³ 0.085×10⁻³ 0.29×10⁻³ 0.50×10⁻³ 0.77×10⁻³ 1.1×10⁻³	0.080×10⁻³ 0.13×10⁻³ 0.43×10⁻³ 0.76×10⁻³ 1.2×10⁻³ 1.7×10⁻³	周界外浓度最高点	0.008 (μg/m³)
30	光气	3.0	25 30 40 50	0.10 0.17 0.59 1.0	0.15 0.26 0.88 1.5	周界外浓度最高点	0.080
31	沥青烟	140(吹制沥青)	15 20 30 40 50 60 70 80	0.18 0.30 1.3 2.3 3.6 5.6 7.4 10	0.27 0.45 2.0 3.5 5.4 7.5 11 15	生产设备不得有明显的无组织排放存在	
		40 (熔炼、浸涂)					
		75 (建筑搅拌)					
32	石棉尘	1根纤维/cm³ 或10mg/m³	15 20 30 40 50	0.55 0.93 3.6 6.2 9.4	0.83 1.4 5.4 9.3 14	生产设备不得有明显的无组织排放存在	
33	非甲烷总烃	120 (使用溶剂汽油或其他混合烃类物质)	15 20 30 40	10 17 53 100	16 27 83 150	周界外浓度最高点	4.0

8.4.3 空气污染指数(Air Pollution Index)

空气质量公报就是根据国家《环境空气质量标准》中规定的几种常见污染物例行监测的结果,评价城市的空气质量,并以空气污染指数的表征形式来向公众发布。空气污染指数(air pollution index,简称 API)是一种反映和评价空气质量的方法,就是将常规监测的几种空气污染物的浓度简化成为单一的概念性数值形式,并分级表征空气质量状况与空气污染的程度,其结果简明直观,使用方便,适用于表示城市的短期空气质量状况和变化趋势。

空气污染指数的确定原则:空气质量的好坏取决于各种污染物中危害最大的

污染物的污染程度。空气污染指数是根据环境空气质量标准和各项污染物对人体健康和生态环境的影响来确定污染指数的分级及相应的污染物浓度限值。空气污染指数的水平,是将可吸入的悬浮粒子、二氧化碳、一氧化碳、臭氧和二氧化氮的浓度,转化为 0 至 500 的数字。

0 至 25	轻微	预料没有影响
26 至 50	中等	预料对一般人没有影响
50 至 100	偏高	预料不会即时对健康有影响,但若长时间处于这空气污染水平中,可能引致慢性不良影响
101 至 200	甚高	心脏病患者或呼吸系统有毛病的人,健康可能轻微转坏,他们应减少体力消耗及户外活动(例如避免长时间逗留在交通繁忙的街道上)。一般人只会稍感不适
201 至 500	严重	心脏病患者或呼吸系统有毛病的人,健康可能明显转坏,应特别留心。尽量留在家中,减少体力消耗及征询医生的意见。一般人或会略为不适,例如眼睛不适、气喘、咳嗽、痰多、喉痛等。应减少体力消耗及户外活动

目前我国所用的空气指数的分级标准是:

①空气污染指数(API)50 点对应的污染物浓度为国家空气质量日均值一级标准。

②API100 点对应的污染物浓度为国家空气质量日均值二级标准。

③API200 点对应的污染物浓度为国家空气质量日均值三级标准。

API 更高值段的分级对应于各种污染物对人体健康产生不同影响时的浓度极限值。

第五节　室内空气污染
(Indoor Air Pollution)

8.5.1　室内空气污染的来源(Source of Indoor Air Pollution)

多年来,许多国家都在耗费巨资治理大气污染,然而,国内外大量实地调查资料证实:室内空气污染程度往往比室外还高。人的一生大部分时间都是在室内度过的,据统计在发达国家占 90%、在发展中国家比如中国占 70%,另外老弱病残、弱势人群、婴幼儿、妇女等更是在居室内度过他们的绝大部分时光。从一定意义上说,人类健康的凶手,就暗藏在我们每个人的身边。

室内空气质量是伴随着科技进步和生活水平的提高,人们追求更舒适的生活环境过程中带来的问题。它说明注重室内空气质量是保证高质量生活环境的先决条件,否则将会影响人民身体健康和公共安全。室内空气质量的概念,20 世纪 70 年代后期在一些西方国家出现。当时出于节约能源的考虑,建筑物的气密性大大

提高,由此带来室内通风率不足,致使室内空气污染事件频频发生。一些人出现头痛、干咳、皮肤干燥发痒、头晕恶心、注意力难以集中和对气味敏感等症状,这一被称为“致病建筑综合征”的状况在很多国家都有发生,各发达国家在这方面都有着惨痛的教训。

一项分析报告显示,美国在120万商业建筑物中有2500万工作人员患“致病建筑综合征”。美国一个历时5年的专题调查发现,许多民用和商用建筑,室内的空气污染程度是室外的2～5倍,有的甚至超过100倍。日本约有30%的住宅因为使用有害的化学物质而引发“新居综合征”。在英国、西班牙、澳大利亚、美国以及其他工业发达国家都曾暴发因室内空气污染引起的军团病,并导致大量人员死亡。根据国际卫生组织估计,在新建和改建的建筑物中,约有30%是致病建筑。

我国室内环境空气质量现状不容乐观。经常可以听到人们关于“空调病”的抱怨,各种测试分析也证明,室内空气质量存在诸多问题。

1995年上海城建学院对上海的四座新建高档写字楼进行了室内空气质量的测试分析,原因是楼内客户感觉不适而向业主投诉。受测的都是气密性较好的全天候空调建筑。结果发现同样存在国外关注的室内空气质量问题,主要污染物是人的生物散发物和挥发性有机物。1997～1998年,由中国环境科学研究院和澳大利亚国际健康建筑公司联合会主持对北京四座建筑物夏冬两季室内空气质量进行了全面的测试分析。四座建筑物分别是电影院、餐厅、宾馆和写字楼。结果显示,室内空气中的微生物和可吸入颗粒物均大大超过国际通行的标准,挥发性有机化合物、二氧化碳也有部分监测点超标。分析表明,除室外空气质量的原因之外,新风量不足,空气过滤效率低下,空气处理设备卫生状况较差以及缺乏运行保养的健全制度是主要的原因,这些因素与世界其他地区的情况大致相同。

1999～2000年,中国人类生态学会、中国预防医学会劳动卫生与职业病研究所和北京市卫生防疫站联合主持了对北京三十家高中低档餐馆和咖啡厅室内空气质量的测试研究。结果显示,根据我国现行的《公共场所卫生标准》,所测15个检测项目中的绝大部分都有不同程度的超标现象,其中可吸入颗粒物、二氧化氮、湿度、温度和甲醛超标严重。值得注意的是,三星级以上宾馆的高档餐厅和咖啡厅,同样存在可吸入颗粒物、二氧化氮明显超标的问题。空调和通风系统设计能力不足,吸烟区没有空气净化装置仍然是主要的原因。另外,烧烤使用不清洁的燃料等室内污染源也是重要的影响因素。

比之国外,我国目前对室内空气污染的认识还远远不够。近年来,媒体报道的多起居室空气污染事件触目惊心。1998年9月,中央电视台“东方时空”栏目报道,青岛市某医院副院长全家搬进刚刚装修好的新居,不久他自己因甲醛中毒死亡,其家人均不同程度中毒。1997年6月北京某写字楼爆发军团病,使得短时间大楼内有108位人员患病,患病率高达34.62%,患者出现浑身疼痛,部分人扁桃

体发炎、腹泻、高烧。最近,北京市卫生局对北京部分住宅区和写字楼的抽检表明,新装修后居室的甲醛含量普遍超标,最高者竟超标 73 倍！至于军团病的发作,据报道国内已有 7 次,其中建筑工地 2 起,宾馆 1 起,大专院校 1 起,集体单位 2 起,农村儿童 1 起。事实上,室内空气中共可检出 300 多种污染物,有约 68 % 的人体疾病与室内污染有关。

室内空气污染的来源很多,主要有以下几种:

①地下气体的溢出,包括氡气。

②室外空气污染的进入,包括大气中的微生物、粉尘;汽车和工业废气中的氮氧化物、二氧化碳、二氧化硫、可吸入颗粒物等。

③建筑材料和装修材料的散发。建筑装饰材料和室内设施相关污染物有压合木制品和甲醛绝缘泡沫中的甲醛;加湿剂带来的多种细菌、真菌和孢子;油漆涂料、黏合剂中的多种挥发性有机化合物;建筑构件和土石材料中的氡、石棉、五氯苯酚等。

④采暖、烹饪、吸烟。烹饪或取暖造成的氮氧化物、一氧化碳和粉尘;煤的污染比液化气和烟气为重;吸烟产生的化学物质高达 1200 多种,其中重要的有害物质就有 30 余种。

⑤清洁剂、化妆品(尤其是劣质化妆品)等合成化学物质的使用。合成化学物质有成千上万种,美国国会已确认 186 种化学物质对人体有害,我国还没有这个数字。TVOC(总挥发性有机成分),VOC(挥发性有机成分)对人体健康的影响造成包括引起过敏、炎症、甚至癌症。

⑥室内豢养宠物以及栽种不合时宜的花草等。

⑦温暖潮湿的环境引起的室内生物污染。在我国主要发生在东南沿海和南方地区,种类包括有花粉、尘螨、霉菌、真菌、孢子、细菌、病毒以及昆虫包括蟑螂、白蚁、红蚁、皮屑,他们的危害主要是使人体感到不舒服,产生过敏,引起各种传染病。

⑧人体本身。人的活动由新陈代谢带来的二氧化碳、气味和水蒸气等。据研究,人肺可以排出 25 种有毒物质,人呼出的气体中含有 16 种挥发性毒物。

8.5.2　室内空气污染的危害(Harm of Indoor Air Pollution)

室内空气污染重要的形式是悬浮颗粒物,包括液状的气溶胶等。悬浮颗粒有些本身就有毒,有的还吸附有其他的有害成分。在悬浮颗粒最常使用的指标是 TSD(总悬浮颗粒),PM10(可吸入颗粒物),PM2.5(细小颗粒物),PM2.5 约占 PM10 的 45 % ～65 %,即粒子越小对人体的危害就越大。

室内空气污染首先危害呼吸道,引起或加剧急性或慢性呼吸道疾患,如支气管炎、肺气肿、过敏性肺炎、哮喘、肺癌等。心血管也是室内空气污染的受害者。动脉粥样硬化、心绞痛、心肌梗塞、猝死等都与之有关。

几种主要的室内空气污染物的危害如下:

(1) 甲醛

甲醛是一种无色易溶的刺激性气体,可以经呼吸道吸收。现代科学研究表明,甲醛对人体健康有负面影响。长期接触低剂量甲醛可以引起慢性呼吸道疾病、女性月经紊乱、妊娠综合症,引起新生儿体质降低、染色体异常,甚至引起鼻咽癌。如果室内甲醛浓度达到 0.1μL/ L,就会对咽喉和肺上都造成损伤,会产生周身不适、头痛、眩晕、恶心,超过 0.25μL/ L 时,儿童就会感到呼吸困难。高浓度的甲醛对神经系统、免疫系统、肝脏等都有毒害。甲醛还有致畸、致癌作用,长期接触甲醛的人,可引起鼻腔、口腔、鼻咽、咽喉、皮肤和消化道的癌症。甲醛在工业上主要用于生产树脂,如尿醛树脂、三聚氰胺甲醛树脂、酚醛树脂等,这些树脂主要用作黏合剂。房屋隔热层使用的尿醛泡沫塑料含有甲醛。各种人造板中由于使用了黏合剂,均含有甲醛,如大芯板、复合板、密度板,特别是大芯板和复合板,在生产和制造过程中,都大量使用黏合剂。新式家具、墙面地面的装修都要使用黏合剂。凡是大量使用黏合剂的环节,都会有甲醛的释放。此外,化纤地毯、塑料地板砖、涂料、油漆等亦含有一定量甲醛。

(2) 苯系物

苯系物包括苯、甲苯、乙苯、二甲苯等,家装所使用的油漆、涂料及其稀料中都含有苯系物。装修时不可避免地要使用油漆和涂料,因此墙面、新做或新购家具、地板等,凡是使用油漆、涂料的地方,都会释放出苯系物,特别是苯、甲苯和二甲苯。

苯是无色具有特殊芳香气味的液体,是室内挥发性有机物的一种。在通风不良的环境中工作,短时间内吸入高浓度苯蒸气可以引起以中枢神经系统抑制作用为主的急性苯中毒。已经被专家确认是严重致癌物质。轻度中毒会造成嗜睡、头痛、头晕、恶心、呕吐、胸部紧束感等,并可有轻度黏膜刺激症状。重度中毒可出现视物模糊,震颤、呼吸浅而快、心律不齐、抽搐和昏迷。少数严重病例可出现呼吸和循环衰竭,心室颤动。苯在各种建筑材料的有机溶剂中大量存在,比如各种油漆的添加剂和稀释剂和一些防水材料等等。

(3) 氨气

氨是一种无色而有强烈刺激性臭味的气体,可感觉最低浓度为 5.3μL/ L。氨是一种碱性物质,它对接触组织都有腐蚀和刺激作用。可以吸收组织中的水分,使组织蛋白变性,并使组织脂肪皂化,破坏组织细胞结构,减弱人体对疾病的抵抗力。浓度过高时除腐蚀作用外,还可以通过三叉神经末梢的反射作用而引起心脏停搏和呼吸停止。家装时一般要做防水层,有的楼房在冬天建筑施工时使用防冻液,防水层和防冻液的使用都会释放出氨气。

(4) 氡气

氡是由镭衰变产生的自然界唯一的天然放射性惰性气体,它没有颜色,也没有

任何气味。氡原子在空气中的衰变产物被称为氡子体,为金属粒子。常温下氡子体在空气中能形成放射性气溶胶而污染空气。容易被呼吸系统截留,并在局部区域不断累积而诱发肺癌。科学研究表明,氡对人体的辐射伤害占人体一生中所受到的全部辐射伤害的 55 % 以上,其诱发肺癌的潜伏期大多都在 15 年以上,世界上 1/ 5 的肺癌患者与氡有关。所以说,氡是导致人类肺癌的第二大“杀手”,是除吸烟以外引起肺癌的第二大因素,世界卫生组织把它列为使人致癌的 19 种物质之一。室内装修必须使用瓷砖、混凝土,有的家庭还使用大理石、花岗岩等石材,这些材料会不同程度地释放出氡等放射性污染物。地基土壤里也产生氡。

(5) 其他挥发性有机物

家装所使用的材料中含有挥发性有机化合物多达 300 余种,其中对人体有明显危害作用的化合物就有 20 多种。油漆、涂料、黏合剂等会释放出硝基苯类、二氯乙烯、四氯乙烯、二氯甲烷等卤代烃、丙酮、乙醇、乙酸乙酯等挥发性有机物,尤其是硝基苯,一般油漆中均含该化合物,对人体健康危害极大。

(6) 其他放射性物质

各种天然石材由于产地、地质结构和生成年代不同,其放射性也不同。经检测,石材中的放射性主要是镭、钍、钾三种放射性元素在衰变中产生的放射性物质。如可衰变物质的含量过大,即放射性物质的“比活度”过高,则对人体是有害的。国家质量监督局曾对市场上的天然石材进行了监督抽查,从检测结果看,其中花岗岩超标较多,放射性较高。天然石材中的放射性危害主要有两个方面,即体内辐射与体外辐射。

空气质量看似只与健康相关,但推而广之,保证劳动者的健康对于提高劳动效率和降低社会成本功不可没。

研究表明,室内空气质量与劳动效率和出勤率有着密切的关系,由此造成的缺勤和医疗费用的损失巨大。荷兰住房与建设部的报告曾经指出,被调查的雇员中因患与工作有关的疾病平均每年请病假两天半,估计每年造成办公室或营业场所员工的工作日损失达 100 万个。急性呼吸道疾病的传染均以室内空气为传播媒介。《美国医学杂志》1985 年调查报告估计,在美国,每年因呼吸道感染而就医的人数高达 7500 万人次,每年损失 1.5 亿个工作日,花费的医疗费用达 150 亿美元,而缺勤损失高达 590 亿美元。国际经验表明,加强室内空气质量的控制,通常情况下所增加的费用并不多,就可以达到提高劳动生产率的目的。

8.5.3　室内空气污染物国家标准(Indoor Air Pollutants Standard)

由建设部、国家质检总局、卫生部、国家环保总局同时启动的有关室内空气相关标准工作即将结束,各项指标在 2002 年年初正式出台。这些标准规范包括:《室内建筑装饰装修材料有限物质限量》,由国家质检总局制定;《室内环境质量评价标

准》,由国家环保总局、卫生部制定;《住宅装修工程规范》、《民用建筑工程室内环境污染控制规范》以及修改《建筑装修工程质量验收标准》,由建设部负责。

在《室内建筑装饰装修材料有限物质限量》中有10项内容涉及到人造板、内墙涂料、木器涂料、胶黏剂、地毯、壁纸、家具、地板革、混凝土外加剂和建筑材料等放射性物质。后来日益受到关注的放射性物质氡污染也在"建筑材料放射性物质"这一项中被限制。

《民用建筑工程室内环境污染控制规范》具有高水平、可操作性,科技含量高的特点,这一规范在装饰材料方面,主要对氨、甲醛、苯、氡、挥发性有机物5种污染物进行控制,对材料选择、施工和验收等环节进行控制,如果控制污染物超标,房子不能交付使用。2001年9月,为贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》,保护人体健康,国家环境保护总局首次制订了《室内环境质量评价标准》,并向全社会公开征求意见。这部《室内环境质量评价标准》主要适用于住宅居室(包括居民居室和宾馆酒店)和办公场所室内环境质量的评价。其他公共场所(包括文化娱乐场所、商场、商店、医院、候车室等)可参照该标准执行。

控制项目包括可吸入颗粒物、甲醛、二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、苯并(a)芘、苯、氨、氡、TVOC、O_3、温度、相对湿度、空气流速、细菌总数、噪声、二甲苯、新风量。

类 别	项 目
物理指标	可吸入颗粒物、温度、湿度、空气流速、新风量、光度、噪声、振动
化学指标	甲醛、苯、二甲苯、总挥发性有机物、苯并(a)芘、氨、二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫、二氧化氮
生物指标	细菌总数
电磁辐射及放射性	氡极其子体、石材放射性、电磁辐射

"标准"分为三级,一级指舒适、良好的室内环境;二级指能保护大众(包括老人和儿童)健康的室内环境;三级指能保护员工健康、基本能居住或办公的室内环境。

"标准"明确规定了监测与评价的采样要求。采样点的数量根据室内面积大小和现场情况而确定,一般50 m^2以下的房间设1～3个点,50～100 m^2的房间设3～5个点,100 m^2以上的房间至少设5个点,对角线或梅花式布点。

采样时应避开通风道和通风口,离墙壁距离应大于1 m。

采样点高度位于0.8～1.5 m。

评价居室时应在人们正常活动情况下采样,至少监测一天,一天两次,不开门窗。

评价办公建筑物时应选择在无人活动情况下采样,至少监测一天,一天两次,

不开门窗。

标准的项目由经过国家认可机构认可的具有监测资质的监测单位负责组织监测。表 8.2 是有关室内空气污染物的国家标准。

表 8.2　室内空气污染物国家标准

物质名称	最高允许浓度	检测标准
甲醛	0.08 mg/m^3	GB/T16127
氡	100Bq/m^3(新建房)	GB/T16146
氡	200Bq/m^3(已建房)	GB/T16146
苯	0.09mg/m^3	卫法监[2001]255 号
氮氧化物	0.10 mg/m^3	GB/T17096
二氧化碳	0.10%(2000 mg/m^3)	GB/T17094
二氧化硫	0.15 mg/m^3	GB/T17097
细菌总数	4000CFU/m^3	GB/T17093
可吸入颗粒物	0.15 mg/m^3	GB/T17095
氨	0.50mg/m^3	GB/T14668
氨	0.20mg/m^3	GB/T14668
二甲苯	0.3mg/m^3	居住区
甲醇	3.0mg/m^3	居住区
噪声	50/40dB	GB/T 3222-94
氮氧化物	0.10 mg/m^3	GB/T17096
石材	A 类	JC518-93

8.5.4　室内空气污染控制(Indoor Air Pollution Control)

鉴于室内空气污染的严重危害,其预防和控制应引起人们的高度重视。保障室内良好的空气质量的措施包括:

①房地产开发选址方面要远离工业区,远离交通繁忙的公路,避开断裂带。了解征用的土地以往的用途,注意地形注意排水,进行土壤中放射性元素含量的测量,我国对选址等有明确规定。

②认真选择建筑和装修材料,不要使用石棉材料,慎用玻璃纤维材料。

③增加室内换气频度是减轻污染的关键性措施。一般家庭在春、夏、秋季,都应留通风口或经常开“小窗户”;冬季每天至少早、午、晚开窗 10 min 左右。教室、影剧院、车厢、商店等人群聚集的场所,尤应注意加强通风换气。注意通风设备的维修和保养。

④在居室及工作、学习的房间内绝对戒烟。

⑤用煤、木柴等取暖的家庭,要经常检修炉灶,保持通风良好,严防不完全燃烧。

⑥讲究厨房里的空气卫生。每次烹饪完毕必开窗换气;在煎、炸食物时,更应加强通风。最好安装抽油烟机。

⑦正确使用家庭化学剂。在使用时应开窗,用后不可马上关窗,至少开窗换气半小时。

⑧尽一切可能增加户外活动时间。全家人应走出家门,到大自然中去。对久居室内的老、弱、病、残及幼儿,更应为他们安排一定的户外活动时间。尤其是瘫痪在床、二便不能自理的病人,本身就是重要的室内污染源,反过来又是首要的受害者。因此,对这类病人必须加强护理和卫生照顾,勤洗勤换衣服和被褥,并注意经常开窗换气。

参考文献

郝吉明,马广大.1989.大气污染控制工程.北京:高等教育出版社

林肇信.北京:高等教育出版社

Mackenzie L. Davis, David A. Cornwell 著.王建龙译.2002.环境工程导论(第三版).北京:清华大学出版社

第九章　大气污染预防与控制

工业废气在几乎所有的工业行业,在原料运输、储存、生产、加工和使用过程的各个环节中都有可能产生,具有相当的普遍性;产生的原因、方式、数量和成分随生产方法和工艺的不同有很大的不确定性。对于工业废气与其他工业污染物一样,有着污染预防、污染控制和污染物处理三个不同层次的对策,且随着污染预防、清洁生产理论和实践的发展,人类污染控制战略已经从以污染物处理为主转变成以污染预防为主(图 9.1)。

图 9.1　污染控制战略的变化

1. 污染预防

污染预防是指合理利用生产工艺、运行、原料、产品及能源,以避免或减少污染物和废物的产生,减少对环境或人类健康的全部风险。

2. 污染控制

污染控制是在污染物释放到环境前对产生废物流的生产过程、运行、原料、产品及能源施加影响,以减少污染物和废物带来的风险。

3. 污染物处理

大气污染治理指通过热力学、化学或其他技术方法分解或安全处置大气污染物。

根据污染预防和控制的概念,污染预防的目标是使污染物和废弃物对环境和人类健康的不利影响最小化,污染预防给我们带来的效益远高于其他环境保护方法(表 9.1),显然,大气污染预防和控制应当是各类大气环境保护方法中的最优先选择。

表 9.1 各类大气环境保护方法的效益对比

效 益	污染预防	污染控制	污染物处理
减少或避免大气污染物的产生	√		
减少排入大气的污染物量	√	√	√
更有效地利用物料	√	√	
降低生产成本,增强竞争性	√	√	
减少使用高费用的末端治理措施	√	√	
消除生产发展的环境障碍	√	√	√
减轻健康危害	√	√	√
促进污染预防技术的开发	√		

4. 大气污染预防和控制步骤

根据污染预防和清洁生产概念,从总的层面上讲,大气污染预防和控制步骤包括以下内容:承诺与政策;基线调查;规划;实施;监督与报告;评估、检查及改进。

本章将主要从技术角度分析和讨论基线调查和规划中的部分内容(表 9.2),其他内容读者可参考有关专业书籍。

表 9.2 污染预防规划的技术内容

步 骤	内 容
基线调查	定义规划的系统边界
	污染源调查及污染因子识别
规划	污染预防机会识别
	建立污染预防目标
	选择污染预防技术对策

据此,本章各节安排如下:基线调查;大气污染因子识别;大气污染预防机会识别;大气污染预防技术对策。

第一节　基线调查
(Baseline Review)

所谓基线调查是指在充分掌握产品和生产过程知识的基础上收集、识别污染预防机会必要信息的系统方法。

基线调查应当应用于污染预防规划的各个步骤中。

9.1.1　基线调查方法(Methods of Baseline Review)

1. 多介质分析

污染预防必须全面考虑污染物对各种环境介质的影响。末端治理在解决废弃物时常将其从一种环境介质转移到另一种环境介质,总的环境影响并未消除,并且可能会引起次生影响。多介质分析以某一具体废弃物为对象,考虑其可能的存在形态及相应的环境介质,对各介质中污染物的影响予以评价,得出总的环境影响。

2. 生命周期分析

生命周期分析是用于明确在产品的一个生命周期(从原材料提取、加工、运输、使用直至废弃的全过程)内的能量使用、物质投入以及废弃物的产生。包含以下三部分内容:

①详细调查列出产品生产的所有单元过程、绘制流程图以及各个单元过程中物质和能量的使用量及向环境中释放的物质的量。

②对于能量消耗、物质资源使用以及物质释放的潜在环境影响进行分析。

③针对被考察的产品或过程,分析应采取何种措施以改善对环境的影响。

3. 物料平衡及其分析

物料平衡是基于物质守恒定律基础上的一种分析方法,对于任何一个单独的单元过程或设备可以将其所有进入该过程的物料一定以一种或几种形式产出。

投入的质量/体积 = (产品 + 非产品产出)的质量/体积

通过对物料平衡结果的分析,可以得出非产品产出的产生环节、种类、形式和数量,为识别污染预防机会提供了基础数据。

9.1.2　系统边界(System Boundary)

系统边界是污染预防规划所包含的一个特定的功能区域或过程。相关的污染预防机会的确定和选择均以该区域为基准。

与本章讨论的内容所相关的系统边界如图 9.2 确定。该过程界定为:从原材料采购、运输、储存、生产、开始直到产品出厂为止的整个生产过程。

图 9.2 大气污染预防规划系统边界

9.1.3 大气污染源调查(The Classification of Atmosphere Pollution Source)

大气污染源调查的内容包括大气污染源分类、来源、污染因子识别等。其中污染因子识别部分详见第二节。

9.1.4 大气污染源分类(The Classification of Atmosphere Pollution Source)

不管含何种组分的工业大气污染源按其排放形式(discharge form),可以分为有组织排放(organization discharge)和无组织排放(inorganization discharge)两大类。

有组织排放指经空气动力装置(如风机,空气压缩机,真空泵等)并经一定口径

排气筒排出的废气,或无空气动力源经一定高度、口径排气筒排出的废气。

无组织排放指大气污染物不经过排气筒的无规则排放。低矮排气筒的排放在一定条件下也可造成与无组织相同的后果。无组织排放源指设置于露天环境具有无组织排放的设施,或指具有无组织排放的建筑构造(如车间,工棚等)。工业上常采取一些措施将无组织排放的废气转为有组织排放,以便于回收处理。

从源型上分类,工业大气污染源可以分为固定高架源(单源,多源)、面源等,无组织排放的工业废气常呈弥散形式,因此多为面源型污染源。

第二节　大气污染因子识别
(The Identification of Atmosphere Pollution Factor)

工业废气按所含污染物,可简单地分为含无机污染物的废气(the waste gas including inorganic pollutant)、含有机污染物的废气(the waste gas including organic pollutant)和混合型污染物废气(the waste gas including mixed pollutant)三大类。

含无机污染物的废气主要来自化肥、酸、无机盐、能源等行业,含有机污染物的废气主要来自有机原料及合成材料、农药、染料、涂料等行业,混合型污染物废气则主要来自精细化工、原料药合成、氯碱、炼焦等行业。

随着工业的发展,现代工业所用原材料、加工过程和产品越来越复杂,工业废气中组分亦越来越复杂,难以仅仅用其组成分类。污染物的形态是指其外部状态,是其化学组成和内部结构的表现形式,随环境条件的变化而改变,不同形态的大气污染物具有不同的迁移、转化关系和不同的生物效应,所采取的污染预防方法亦差别较大,很显然,按废气中污染物的形态分类更为重要。

9.2.1　废气中污染物形态(Pollutant Form of Waste Gas)

不同大气污染物的理化性质不同,在废气中存在的形态也各异,一般有气态和颗粒态污染物两类。但是某些大气污染物有刺激性的气味,其对环境和人体健康的影响以及预防方法与通常气态污染物并不相同,因此将该类污染物单独列为恶臭污染物。

9.2.2　气态污染物(Gaseous Pollutant)

气态污染物包括气体和蒸气。气体如常见的无机物 SO_2、NO_2、Cl_2、NH_3、HCl 等,蒸气主要是低沸点的有机液体挥发形成的如苯、卤代烃、卤代芳烃等。气态污染物以分子状态存在,由于温度和气流的影响,扩散快。

气态污染物的来源通常可以分为下面几种情况:

(1)过量气态或易挥发反应物产生的废气

在生产过程中,随着反应条件和原料纯度的不同,原料不可能全部转化为产品或半成品,有时为使一种较重要的原料反应完全,或者在对成分控制手段不能满足要求的情况下,常将另一种原料过量,未反应完的原料如以气态或原本就是气态原料排出反应体系就形成了废气。

(2)反应生成的气态或易挥发物形成的废气

很多情况下,反应产物是气态或易挥发物质,这类反应体系,亦会有废气产生。

(3)原料及产品物理方法加工、使用过程中产生的废气

某些原料或产品在热加工或其他物理方法加工、使用过程中由于其组分中的易挥发成分而产生废气。

如蒸馏回收各种有机溶剂时,常因冷却不好,造成低沸点的醇类等随尾气排出成为废气。

塑料加工过程中散发的气体污染物属于典型的产品热加工过程中排出的废气。在高温下,塑料生产时加入的助剂如增塑剂、抗老化剂、热稳定剂等甚至塑料单体本身的微量分解混合在一起,形成塑料加工废气。

橡胶轮胎生产过程的高温精炼、硫化时,橡胶会产生一定量的挥发气体,该挥发物成分非常复杂。根据前苏联轮胎研究所对硫化废气成分分析,证明该废气含有 160 多种化学物质,以有机物为主,可以用非甲烷总烃来表示,此外还含有 SO_2、H_2S 等无机污染物。

印染厂用氨处理棉坯布时产生的氨气。

类似的还有油漆生产、使用过程生产的废气等。

(4)生产过程中的无组织排放废气

气态、易挥发液体和易升华固体物质从原料运输进厂、储存到产品生产、废弃物处理、产品运输等各环节,由于出厂工艺技术路线及生产设备落后,造成跑、冒、滴、漏,这类废气属于无组织排放。

(5)开停车及其他非正常生产情况下的短期排放

这种情况下废气主要成分是原料或副反应物,其排放数量和排放时间大多不确定。

(6)事故性排放或其他不可预见的灾害造成的意外排放

包括可能的事故性排放,例如各种挥发性液体储罐、有毒有害气体储罐、管道泄露等。

(7)废弃物处理时产生的废气

各种废水、固体废弃物在采用物理化学、生物等方法处理、处置时,常常会产生废气,例如厌氧生物法处理废水时产生的硫化氢气体等。在大多数情况下,这类废气呈无组织排放。

9.2.3　颗粒态污染物(Particulate Pollutant)

颗粒态污染物指废气中存在的固体或液体的微小颗粒,如各种粉尘,一些易挥发、升华的物质如汞、萘、苯酚类等的升华物等。

1. 颗粒态污染物来源

几乎各个工业行业在生产、加工等活动中都有可能产生颗粒态污染物,典型的产生颗粒态污染物的生产过程有:

①固体物质的机械破碎过程。

②固体表面的加工过程,如磨削加工等。

③粉状物料的储运、装卸、混合、筛分、包装过程。

④粉状物料的成型加工过程。

⑤物质的加热、燃烧过程,金属的冶炼、焊接过程。

2. 颗粒态污染物分类

颗粒物污染物的分类方法有多种,如表 9.3 所示。

表 9.3　颗粒态污染物分类

分类方法	粉尘名称	特　　点
粉尘起因	工业粉尘	在工艺过程中散发出的,人工可以控制
	自然飘尘	由风吹起的,人工难以控制
工业粉尘按其生成特性分	生产性粉尘	由生产过程中产生而漂浮于空气中的各种粉尘,形成时无物理、化学变化,多为常温下粉尘
	烟尘	粉尘生成过程中伴随着物理、化学变化,如由于氧化、还原、升华、蒸发、冷凝等过程而形成的固体微粒,多为高温烟气中的粉尘
理化性质	无机粉尘	矿物性粉尘(石英,石棉,滑石,石灰石,黏土粉尘等),金属性粉尘(金属粉尘,金属氧化物、其他无机化学品粉尘等)和人工无机性粉尘(如金刚沙,水泥,石墨,玻璃等)
	有机粉尘	植物性粉尘(煤炭,棉,麻,谷物,烟草,茶叶粉尘等),动物性(如兽毛,毛发,骨质,角质粉尘等)和人工有机性粉尘(如各种有机化学品粉尘等)
	混合性粉尘	上述两种或多种粉尘的混合物。混合性粉尘在生产过程中常常遇到,如磨床磨削过程既有金刚沙粉尘又有金属粉尘
卫生学性质	有毒粉尘	重金属粉尘、化学品粉尘、有毒矿物粉尘,5μm 以下的呼吸性粉尘等
	无毒粉尘	如铁矿石粉尘、棉尘等
燃烧和爆炸性	放射性粉尘	如铀矿物粉尘等
	易燃易爆粉尘	如煤粉、硫磺粉、可燃化学品粉尘、活泼金属粉尘、有机纤维粉尘等
	非燃非爆粉尘	如石灰石粉尘等

表 9.4 有关颗粒态污染物的名词解释

分类方法	特 点
总悬浮颗粒(TSP)	能悬浮在空气中,空气动力学当量直径≤100μm 的颗粒物
可吸入颗粒(PM_{10})	悬浮在空气中,空气动力学当量直径≤10μm 的颗粒物
尘埃	粒径一般大于 10μm,在静止空气中呈加速度沉降,肉眼可见
尘雾(fog)	粒径 10～0.25μm,在静止空气中等速沉降,用显微镜可见
尘云	粒径在 0.25μm 以下,在静止空气中不沉降(或非常缓慢曲折地降落),受空气分子的冲撞而作布朗运动,有相当强的扩散能力,只能用超倍显微镜观察
雾沫和液沫(mists and sprays)	通常在液相向气相的扩散产生雾沫和液沫,其粒子直径从 0.1 微米到 5000μm 不等
粉尘(dusts)	通常在诸如粉碎、破碎、研磨、钻削、输送、筛分、爆破以及抛光等过程中形成,粒径一般在 1.0～1000μm 之间,易沉降
飞灰(fly ash)	飞灰一般为夹带在燃烧产生的烟气中的微尘,粒径小于 1μm,重力沉降室对其无能为力
尘雾(fumes)	尘雾是蒸气冷凝时产生的极细的固体粒子,通常是升华、蒸馏和金属熔炼过程的副产物,其粒径一般在 0.1～1μm 之间
烟黑(smoke)	烟黑为夹带在气体中的微小固体粒子,是有机物不完全燃烧的产物,粒子极小,粒径从 0.01μm 以下至 1μm 不等
烟雾(smog)	指天然雾与工业烟黑的混合物
气溶胶(aerosols)	气溶胶是悬浮在气体中的固体及液体细小粒子的总称,粒子从 0.01μm 到 100μm 不等
分散性气溶胶(dispersion aerosols)	在研磨加工、固体粉碎和液体雾化以及粉末振动悬浮输送过程中产生,通常由形状不规则的单个粒子或稍有附聚的粒子组成
凝聚性气溶胶(condensation aerosols)	由过饱和蒸气冷凝时形成的,也可在气体经化学反应生成非挥发性产物时产生。凝聚性气溶胶一般小于 1μm,而分散型气溶胶则较大,粒度分布也很广。凝聚性气溶胶常有固体粒子组成,是大量晶体或球形原始粒子的疏松团粒
沙砾(grit)	常指不能通过 200 目筛网的颗粒,其粒径一般大于 43μm,属于重力沉降室的有效除尘范围

9.2.4 粉尘的特性(Dust Characteristic)

1. 密度

分为尘粒密度和堆积密度。密实状态下单位体积粉尘的质量称为粉尘的尘粒

密度(真密度),自然堆积状态下单位体积粉尘的质量称为堆积密度。堆积密度小于尘粒密度,与粉尘的储运设备和除尘器的设计有密切关系,对重力除尘器、惯性除尘器的工作有较大影响。

2. 安息角和滑动角

安息角也称自然堆积角,是粉尘在水平面上自然堆积成圆锥体,圆锥体的母线与水平面的夹角,一般为 35°～50°。

将粉尘置于一块光滑的平板上,使该板倾斜到粉尘开始滑动的角度称为滑动角,一般为 30°～40°。

粉尘的安息角和滑动角是评价粉尘流动特性的一个重要指标,与粉尘粒径、含水率、粒子形状、表面光滑程度和粉尘黏性等因素有关。

粉尘的安息角和滑动角是设计除尘器灰斗或料仓锥度、除尘管道倾斜度的主要依据。

3. 湿润性与水硬性

粉尘被水或其他液体润湿的难易程度称为湿润性。

有的粉尘(如石英沙)易被水湿润,与水接触后会发生凝聚、增重有利于粉尘从气流中分离,称为亲水性粉尘;有的粉尘(如炭黑)很难被水湿润,称为憎水性粉尘,有的粉尘(如水泥,石灰)与水接触后,会发生黏结和变硬,称为水硬性粉尘。

水硬性粉尘不宜用湿式除尘器;憎水性粉尘用湿式除尘器处理,除尘效率不高。

4. 黏附性

尘粒互相贴附凝聚成粒子团的性质称为凝聚性。粉尘与器壁、管壁、水膜附着的性质称为附着性。凝聚性和附着性统称为粉尘的黏接性。

粉尘的黏附性主要取决于粉尘的粒度、湿度、荷电性以及外界条件如空气的温度、湿度、电场力与磁场力、尘粒的运动状态等。

凝聚性会使尘粒增大,有利于分离而提高除尘效率;附着性会使除尘设备或风管内部黏尘而堵塞。

5. 磨损性

粉尘的磨损性指粉尘在流动过程中对器壁、管壁的磨损程度。

粉尘的磨损性与气流速度的 2～3 次方成正比,与粉尘本身的硬度有关。

6. 粉尘的荷电与导电性

粉尘在形成过程中或由于电离辐射、电晕放电和相互摩擦碰撞而带一定电荷。若空气中的尘粒带有同性电荷,则互相排斥而不易凝聚,造成粉尘弥漫,不利于捕集;反之,尘粒带有异性电荷,则互相吸引凝聚成更大的颗粒,加速沉降,从空气中分离。

导电性强的粉尘,荷电与失电都快,故不稳定。温度升高,带电能力增加,湿度增加,带电能力减小。

在粉体工程中用比电阻表示粉尘的导电性,单位为 Ω·cm,是选择电除尘器的主要依据。

7. 燃烧与爆炸性

固体物料粉碎后,其表面积大大增加,化学活泼性随之提高。因此,一些物质形成粉尘后,在空气中达到一定浓度时,在外界的高温、火花、摩擦、碰撞、振动等作用下,有引起爆炸的可能。这类粉尘称为具有爆炸危险性的粉尘。

有爆炸危险性的粉尘,只有达到一定浓度时才能发生爆炸,这一界限浓度称为爆炸下限。

8. 粒度和分散度

粉尘颗粒的大小和形状是不规则的,其大小只能用某一个代表性的尺寸(粒径)来表示。对于球形尘粒,粒度就是指它的直径;对于非球形尘粒,粒度是以某一个最佳的代表形尺寸作为粒径。粒径根据测定方法的不同而有不同的定义。不同的测定方法和不同的定义所得到的粒径数值不同。

一般,粉尘颗粒群是由各种大小的颗粒以不同的比例组成的,这种粉尘粒度的分布称为分散度。

分散度是以样品中不同粒积(根据粒径大小,测定方法和要求不同进行适当分组)的粉尘质量占样品总质量的百分比来表示的,称为质量分散度。

粉尘分散度对于确定除尘器的分级除尘效率、设计选择除尘装置以及考察粉

表 9.5 某粉尘的质量分散度

	粒径/ μm					
	0～5	5～10	10～20	20～30	30～40	> 40
粒度质量分布/ %	6.2	27.8	42.3	15.4	5.9	2.4
累计/ %	6.2	34.0	76.3	91.7	97.6	100

尘对人体的危害程度都是非常重要的条件。

9.2.5　恶臭污染物(Odor Pollutant)

恶臭污染物是指一切刺激嗅觉感官,引起人们不愉快及损害生活环境的气体物质。

工业恶臭源主要产生于石油精炼、化工、造纸、煤化工、塑料加工、橡胶制品生产、皮革、污水处理、垃圾处理等企业(表 9.6)。

表 9.6　恶臭物质的主要工业发生源

恶臭物质	主要恶臭源	臭气嗅感
氨	化工、化肥、皮革、污水处理、垃圾处理厂等	特殊的刺激性臭
三甲基氨	化肥等	腐烂性鱼臭
硫化氢	化工、农药、纸业、皮革、橡胶制品、污水处理、垃圾处理厂等	腐烂性蛋臭
甲硫醇	化工、纸浆、皮革、饲料肥料、污水处理、垃圾处理厂等	腐烂性洋葱臭
甲基硫化物	化工、纸浆、饲料肥料、污水处理、垃圾处理厂等	腐烂性洋葱臭
二硫化碳	人造纤维、合成橡胶、树脂、日用化学、化工等	坏萝卜臭
苯乙烯	石化、合成橡胶、树脂、塑料及塑料加工、化工等	芳香型臭气

第三节　大气污染预防机会识别
(The Identification of Atmosphere Pollution Prevention)

根据污染预防和清洁生产概念,对于任何一个工业大气污染源,可以视为一个生产(废气)过程,影响其产物(大气污染物)的因素,可以归纳成原材料、工艺技术和设备、管理及人员素质、废弃物处理等方面,从上述诸方面进行分析,可以求得大气污染物产生的根本原因。

表 9.7　生产过程有组织排放气态污染物发生的因果关系及对策

序号	可能的原因	基本对策
1	需使用气体、易挥发液体或易升华固体而产生尾气	原料替代
2	工艺落后,原料转化率低,未反应的原料气成尾气排放	改进工艺技术
3	气态副反应物成尾气排放	原料替代
4	反应生成的气态或易挥发物形成的废气	

续表

序号	可能的原因	基本对策
5	原材料杂质多,导致气态副反应物成尾气排放	原料精制
6	工艺控制水平不能满足技术工艺要求,使原料过量成为尾气	改进工艺过程控制
7	某些工艺参数未能得到有效控制(控制项目太少)	
8	某些原料或产品在热加工或其他物理方法加工、使用过程中由于其组分中的易挥发成分而产生废气	改进工艺配方,不使用可能产生废气的原材料
9	设备的功能不能满足工艺要求,导致气态副反应物成尾气排放	采用新设备

表 9.8 无组织排放大气污染物发生的因果关系及对策

序号	现象	可能的原因	基本对策
1	气体或易挥发液体原材料罐区、仓库有无组织排放废气	原材料是气体、易挥发液体或易升华固体 包装材料质量不符合要求而破损 野蛮装卸使包装破损 仓储条件不能满足原材料理化特性要求	改变原料路线,原材料替代 加强采购管理 培训、严格生产管理 改进仓储条件
2		设备密闭不好	改进设备密闭性或列新设备
3	生产过程有无组织排放废气	设备缺乏有效维护和保养导致泄漏	改进设备管理
4		某些单元过程如蒸馏回收各种有机溶剂时,常因冷却不好,造成低沸点的醇类等随尾气排出成为废气	改进工艺或改进过程控制
5	废弃物处理	各种废水、固体废弃物在采用物理化学、生物等方法处理、处置时,常常会产生废气,例如厌氧生物法处理废水时产生的硫化氢气体等	改进废弃物处理方法,进行预处理

表 9.9 颗粒污染物发生的因果关系及对策

序号	现象	可能的原因	基本对策
1	粉状原料仓库无组织排放粉尘	可使用液态原料而未使用	原材料替代
		包装材料质量不符合要求而破损	严格采购管理
		野蛮装卸使包装破损	培训、严格生产管理
		仓储条件不能满足要求导致包装破损	改善仓库条件
		卸料为手工	更新装卸方法
		野蛮卸料	培训、严格生产管理

续表

序号	现象	可能的原因	基本对策
2	生产过程中无组织排放粉尘	工艺系统为正压,导致泄漏	改进工艺设备
		设备无密闭	改进设备密闭性或更新设备
		设备密闭有缺陷	改进设备密闭性
		不按工艺规定操作	培训、严格生产管理
3	生产过程中有组织排放粉尘超标	工艺参数控制不好,产尘超过设计值	改进过程控制
		除尘设备选型不合理,分离效率低	改进工艺设备
		除尘设备无有效保养、维护	培训、严格生产管理
4	气力输送尾气粉尘超标	气固分离工艺设计不合理	改进工艺
		气固分离设备落后,分离效率低	更换新型分离设备
		气固分离设备无有效保养、维护	培训、严格生产管理
5	废弃物处理时无组织排放粉尘	旧包装容器中物料未卸尽	改进卸包方法,严格生产管理

第四节　大气污染预防技术对策
(Technology of Pollution Prevention)

根据清洁生产基本概念,工业企业应当实施从原料采购至产品出厂的全过程控制,以尽可能地减少物料和能源的消耗,减少废弃物的产生。由此可以归纳出工业大气污染物预防的基本方法如下:产品环境设计;设备改造和生产工艺改进;原材料替代;改进操作效率与培训;环境优先采购和库存管理;厂内重复使用和循环利用。

9.4.1　产品环境设计(Production Design for Environment, DfE)

通过对现有产品的改进预防污染的环境设计或新产品设计达到在产品整个生命周期(资源开发、生产、利用和最终处置)内防止污染产生,是污染预防最有效的方法。

DfE 寻求将环境要求结合到表现、成本、质量、文化、法律和技术标准等常用设计因素中。

从产品生命周期分析,DfE 包括减少产品及废弃物毒性、延长产品寿命、改进原材料选择、减少产品生产、使用和处置所需要的能量和原材料数量、减少废弃物量。

DfE 与产品生命周期的关系以及产品生命周期内的 DfE 的机会分别见图 9.3

图 9.3 产品设计与产品生命周期的关系

和图 9.4。

9.4.2 设备改造和工艺技术改进(Renew Equipment and Modify Technology)

1. 提高系统转化率

通过工艺技术改进,或使用催化剂等,使气态或低沸点反应物转化率提高,减少废气排放量。如硝酸生产将低压或常压吸收改为高压吸收,尾气 NO_2 不经处理即可达到排放标准。

2. 控制过量率

过量气态反应物将成为尾气。在生产中,应适当设置工艺控制参数和控制值,降低气态反应物或产物为气态物的反应物的过量率,以降低尾气量。

3. 储罐惰性气体自动保护

低沸点易挥发液体原料储罐上安装氮气或惰性气体填充器,对储罐进行自动充填惰性气体,且保持为微正压,使低沸点易挥发液体表面氧含量在可燃限值以下。

9.4.3　更新设备(Renew Equipment)

1. 改进反应器形式或结构

改进反应器形式或结构,使反应完全,减少尾气中污染物数量。例如,有气态反应物参加的反应,宜采用塔式反应器,塔中可设填料,以增加气液接触时间,增加传质效率,使反应完全,减少尾气量,提高产品收率。

2. 全密封系统

使用各种气态或低沸点易挥发液体原料时,生产装置、管线和储罐成为一个全密封系统,管线采用无缝钢管,尽量减少连接法兰和焊接点,原料输送采用磁力泵。

3. 可燃性尾气回收

在石油炼制、石油化工、精细化工等产品生产中,常有可燃性尾气排放,可采取压缩、冷冻、分离等装置回收可燃性组分,用作辅助燃料。

4. 呼吸气回流/平衡装置

化工及其他行业所用各种气态或低沸点易挥发液体原料在装卸时,在卸料运输工具与储罐间设置回流/平衡装置,将储罐内置换出的气体等量地回送至运输工具中,减少甚至不向大气排放。

5. 呼吸气焚烧装置

各种气态或低沸点易挥发液体原料在装卸时,亦可设置呼吸气焚烧装置,储罐顶呼吸阀通过管道和自动控制装置与锅炉(最好是燃油或燃气锅炉)燃料供应系统相连,在进原料时,将呼吸气导入锅炉燃烧,既消除了污染又节约了燃料。

9.4.4　改进过程控制(Modify Process Control)

1. 气态成分在线控制

对于气态反应物或易挥发液体的输送控制,仅仅控制流量是不够的,应当同时控制流量和成分,才可以准确地控制流体中该物质的量,从而降低过量率。

2. 提高控制精度

利用计算机技术改进过程控制,提高控制精度,减少物料的过量率、流失量,减少大气污染物的产生。

3. 原材料替代

用无污染或低污染的原材料替代在生产过程中易产生大气污染、或本身就是一种大气污染物的原材料,从而减少大气污染的风险。

4. 改变原料路线

在化学反应中,得到某个产物常可以采用不同的工艺(原料)路线,此时往往副产物也不相同,因此,可以通过改变原材料,消除或减少原本为气态或易挥发物的产物,从而消除或减少大气污染物。

5. 使用清洁燃料

清洁燃料所含污染物成分较常规燃料低得多,燃烧过程产生的废弃物排放量也大幅度降低。如乙烯装置裂解炉若使用甲烷-氢燃料,烟气可直接排放;若使用重油作燃料,则需进行烟气脱硫除尘。

6. 减少有机溶剂的使用

在化工、农药、油漆涂料施工、电缆、印刷、皮革加工、金属清洗等行业都需利用有机溶剂作为原材料的稀释剂或清洗剂,在使用过程中,这些有机溶剂绝大部分经挥发进入到大气中,会造成严重的局部污染。因此采用无毒或低毒原材料如水溶性、高固体、粉体、乳剂等代替或部分代替有机溶剂,做到不排或少排有害废气是减少这类污染的有效途径。

9.4.5 改进操作效率与培训(Modify Operating Efficiency and Train)

在多数情况下,改进操作效率、保持一支训练有素的员工队伍是预防污染、降低成本、改善质量的一种低成本途径。

通常相关操作效率方面的技术和措施包括以下各类:基本操作;清洗和维护;原材料和废物的储存和处理;过程控制;有效的日常管理。

详细内容见表 9.10～表 9.14。

表 9.10 基本操作方面

序号	内容	预期的效益
1	工艺规程和操作手册方面的培训	避免因误操作造成废气
2	严格执行工艺纪律的要求	
3	严格设备保养、维护	避免因设备泄漏造成的废气无组织排放
4	原料和废弃物处理方面的培训	避免因处理处置不当造
5	意外情况和事故应急处理的培训	成废气无组织排放

表 9.11　清洗和维护方面

序号	内容	预期的效益
1	以水溶性清洗剂代替有机溶剂	减少有机溶剂的挥发
2	清洗工艺和设备改进,密闭化	
3	用后的清洗剂进行处理、循环使用	提高清洗效率,减少有机溶剂的挥发
4	改进清洗工艺和过程控制	

表 9.12　原材料和废物的储存和处理方面

序号	内容	预期的效益
1	有挥发性的原材料和废物应密闭保存,并有符合要求的仓库	防止挥发成无组织排放
2	改进废物处理方法和工艺	防止处理过程中无组织排放废气产生

表 9.13　过程控制方面

序号	内容	预期的效益
1	完善过程控制的项目和内容	可能减少原材料的过量率,以减少过量的气态、易挥发液体和易升华固体原料产生的废气
2	提高过程控制精度	

9.4.6　环境优先采购和库存管理(Environmental Priority Purchase and Stock Management)

将环境因素纳入到采购活动和库存管理中是污染预防的一个重要方面,可能避免使用会引起大气污染的原材料,可以降低库存中的无组织排放,在很多情况下可以减少生产成本。

1. 环境优先采购

采购决策时,不仅要考虑传统的因素如价格、性能、可获得性、安全性,也必须考虑其环境特性,这样可以避免在生产中使用不必要的环境污染物或有毒物质,减少大气污染物的产生,还可能降低原材料和能源的消耗。优先采购环境友好产品,不得采购国家有关部门发布的禁止类物资,对国家有关部门发布的限制类物质,一旦发现有对环境有益的替代品时,即应逐步取消对该物资的采购。

2. 环境友好的库存管理

在库存管理中增加环境因素可以显著地提高环境、健康和安全保障。

(1)原材料需求管理

在对生产和其他活动进行需求预测的基础上,确定适当的库存水平,减少不必要的采购,实现即时配送,降低过期库存的处理成本,减少大量化学品库存的环境风险和安全风险。特别是有毒有害的气体类和易挥发液体类原料,由于一旦发生泄漏,扩散速度快,污染后果严重,减少其库存引起的环境风险是非常必要的。

(2)货物检查

由于原材料的质量优劣可能引起生产中废弃物的增加,包装状况等的优劣可能引起泄漏等,因此对于货物应严格按合同的技术要求进行检查。

(3)明确储存条件

不同的原材料对于温度、光照、湿度等仓储条件要求不同,明确并严格遵守这些要求可以减少不必要的浪费和损失,保持原材料投入生产时的质量。如仓库达不到这些要求或未严格按这些要求办,则有可能造成原材料的损失,形成无组织排放的大气污染。因此,所有的原材料都应明确其储存的条件,并有相应措施保证存储条件得到满足。

9.4.7 厂内重复使用和循环利用(Recycling in Inside)

厂内重复使用和循环利用是重要的污染预防方法之一,包含了在与生产同一地点进行重复使用和循环利用两个过程。重复使用是根据原来或新的要求,原材料、废弃物或产品以原始方式或新的应用方式被重新利用;循环利用是通过对工艺过程或运行方式的改变、附加能量的投入,对可更新及不可更新的资源有效使用期限加以延长。

1. 明确机会

非产品的产出应被看作是有价值的生产材料的一种损失,按照基线调查的方法,对这些材料加以识别、回收,使之重复使用或循环利用。

2. 分离技术

为了使废物能够在厂内重复使用和循环利用,必须通过一定的分离技术方法使之与生产物流分开,对于工业废气中所含各类废弃物,相关的分离技术有以下各项:

①气气分离。可以采用吸附、吸收、冷凝等分离方法。

②气液分离。可以采用离心、旋流、阻挡分离等方法。

③气固分离。可以采用离心、袋式、电除尘、微孔除尘、颗粒层除尘器等各类气固分离方法。

表 9.14　重复使用和循环利用方法

废气污染物来源	类型	重复使用/循环利用方法
原材料接受	可燃气体原料储罐的装卸呼吸气	用管道收集作辅助燃料
原材料和产品的储存	粉状原材料及产品洒落的粉尘	收集处理后回用
	可燃性尾气	收集压缩、冷冻作燃料或其他用途
生产过程	各种无机或有机尾气、溶剂气体	用水吸收无机酸性气体成酸回收
		用碱吸收无机酸性气体成盐回收
		吸收或吸附回收溶剂气体
	粉尘	气固分离后回收
废弃物处理	厌氧法处理废水产生的甲烷	收集作辅助燃料
	锅炉、窑炉烟气氧化钙法脱硫	脱硫渣用作建筑材料

参考文献

国家经贸委资源节约与综合利用司.2002.加拿大污染预防战略与规划.北京:学苑出版社

国家经贸委资源节约与综合利用司.2001.清洁生产概论.北京:中国检察出版社

化工部环境保护设计技术中心站.1998.化工环境保护设计手册.北京:化学工业出版社

周玳.1993.环境监测.南京:南京大学出版社

Cheremisinoff Paul N, Young Richard A.1977. Air Pollution Control and Design Handbook. New York and Basel: Marcel Dekker, Inc.

第十章　大气污染治理

大气污染治理指通过热力学、化学或其他技术方法分解或安全处置大气污染物，适用于以大气污染预防与控制方法无法削减的大气污染物。不同类型、含不同污染物的工业废气污染源及污染物，治理及处理方法各有不同，一般应当根据废气中污染物的化学和物理性质、浓度、排放量、排放标准以及有无回收价值等因素选择经济有效的治理方法。

工业废气采用的治理方法主要有以下几种：吸收法；吸附法；热分解法；冷凝法；电物理化学法；生物法；高空排放；颗粒污染物的净化。

表 10.1 给出了工业废气处理方法和定义每种工艺的功能的关键词。

下面我们将讨论每种工艺。

表 10.1　工业废气处理方法

序号	处理方法	方法要点	使用范围
1	吸收法	用适当的吸收剂在常温下对废气中污染物进行物理或化学吸收	对废气浓度限制较小，可以使用于含有颗粒物的废气净化
2	吸附法	用适当的吸附剂在常温对废气中污染物进行物理吸附使之净化	适用于较低浓度废气的净化
3	热分解法	以高温或在催化剂和一定温度作用下将废气中的有机物进行氧化分解，温度范围为600～1100℃	适于中、高浓度范围废气的净化，使用于连续排气的场合
4	冷凝法	采用低温，使有机物组分冷却至露点以下，液化回收	适用于高浓度废气净化
5	电物理化学法	在电场、电子束等的作用下，废气中的污染物发生物理化学变化，转变为有用物质或无害物	适于某些特定成分的废气净化，使用于连续排气的场合
6	生物法	利用微生物对有机物和某些无机物的降解作用净化废气中污染物	适于低浓度废气的处理
7	高空排放	对一些特定的污染物，采用高空排放，充分利用高空大气的稀释、消解作用	适于中、低浓度废气的处理
8	颗粒污染物的净化	通过重力、过滤、电场、水洗等作用，使废气中颗粒污染物分离	适于废气中各种浓度颗粒污染物的净化

第一节　吸　　收
(Absorption)

吸收法处理废气可以分物理吸收和化学吸收。

(1)物理吸收

在各种吸收设备中用水或特定吸收剂吸收废气中污染物,使之溶解于吸收剂,再以物理方法或化学方法解吸,从而回收该种物质,这类吸收称为物理吸收。典型的例子如以水吸收酸性或碱性气体、用有机溶剂吸收各种有机气体污染物等。

(2)化学吸收

吸收剂与被吸收的污染物间发生化学反应,污染物转化成另一种物质,这类吸收称为化学吸收。典型的例子如酸性气体或碱性气体可以用对应的碱性或酸性吸收剂进行化学吸收使之中和成为盐;废气含有某种特定污染物如有毒物质,可以选用易与之反应而使其成为无毒物质的吸收剂。

(3)吸收剂类型

吸收剂有液体和固体两大类,水、酸、碱、盐溶液和各种有机溶剂等液体吸收剂最为常见。一些固体材料可通过化学吸收处理气态污染物。表 10.2 是吸收法在处理工业废气方面的某些应用。

表 10.2　吸收法处理废气应用

污染物	吸收剂	吸收产物	主要工艺参数	吸收效率/ %
氟化氢	氧化铝、石灰乳 水	氢氟酸		
四氟化硅	水			
二氧化硫	石灰石	亚硫酸钙、硫酸钙	进口浓度 0.25 %,空塔气速	86～90
	氢氧化钙粉	亚硫酸钙、硫酸钙	0.75 m/ s,停留时间 5s	> 90
	氨水	亚硫酸氨	进口浓度 4500 mg/ m^3,喷淋	98
	氢氧化钠溶液	亚硫酸钠	密度 15～18 m^3/ (m^2·h)	99
	150g/ L 氧化锌浆	亚硫酸锌	喷淋密度 60～68 m^3/ (m^2·h)	> 90
光气	氢氧化钠溶液 氯苯、二氯苯、甲苯	碳酸钠、氯化钠		
苯及苯系物	柴油或柴油 + 水			
氨	无机酸	铵盐溶液		
	水	氨水		
氯气	氢氧化钠溶液	次氯酸钠		

续表

污染物	吸收剂	吸收产物	主要工艺参数	吸收效率/ %
氮氧化物	5 % 氢氧化钠溶液	亚硝酸钠	进口浓度 2500 mg/ m³, 液温 30℃,气液比 50	> 90
	稀硝酸、			
氯化氢	氢氧化钠溶液	氯化钠溶液		80
	水	盐酸		
硫化氢	氢氧化钠溶液	硫化钠		

表 10.3 吸收法处理废气的优缺点

优点

①可广泛用于酸性、碱性气体;氯气、氨;含氟、溴废气、光气尾气处理等方面应用较多油类蒸气、有机溶剂、碳氢化合物废气等的回收和处理方面

②可回收物料

③无二次污染

④设备简单、维护管理方便

⑤更加适用较高浓度废气的处理

缺点

以有机溶剂作吸收剂吸收有机气体时,由于吸收剂的吸收效率、稳定性、再生与处理等还存在一些问题,因此应用不如吸附法广泛

(4)吸收法流程

典型吸收流程见图 10.1。

图 10.1 典型吸收流程

10.1.1　吸收塔工艺设计(Absorption Tower Technological Design)

(1)设计目的

确定吸收剂用量(通过计算气液比),确定设备尺寸(塔径,填料层高度)。

(2)设计条件

应给出气体处理量,进口浓度、出口浓度(或吸收率),气液平衡数据。

(3)选择吸收剂

包括吸收效果、选择性、易分离性等。

(4)操作线方程

混合气体从塔底进,吸收液从塔顶进入,污染物不断被吸附,气体总量自下而上减少,但惰性气体量不变;溶液总量自下而上增加,但吸收液不变,即

$$\frac{Gb}{G}=1-y$$

$$\frac{Ls}{L}=1-x$$

$$Y=\frac{y}{1-y}$$

$$X=\frac{x}{1-x}$$

式中:G 为单位时间通过塔任一截面单位面积的混合气体量,kmol/(m^2·s);Gb 为单位时间通过塔任一截面单位面积的惰性气体量,kmol/(m^2·s);L 为单位时间通过塔任一截面单位面积的溶液量,kmol/(m^2·s);Ls 为单位时间通过塔任一截面单位面积的吸收剂量,kmol/(m^2·s);X 为任一截面的溶液中污染物与吸收剂的摩尔比,kmol 污染物/kmol 吸收剂;x 为任一截面的溶液中污染物的摩尔分率,kmol 污染物/kmol 溶液;Y 为任一截面的混合气体中污染物与惰性气体的摩尔比,kmol 污染物/kmol 惰性气体;y 为任一截面的混合气体中污染物的摩尔分率,kmol 污染物/kmol 混合气体。

由此可做出塔底与任一截面间(图 10.2 中虚线框内)污染物物料平衡式:

$$Gb\cdot Y_1+Ls\cdot X=Gb\cdot Y+Ls\cdot X_1$$

$$Gb(Y_1-Y)=Ls(X-X_1)$$

合并两式,即得操作线方程

$$Y=\frac{Ls}{Gb}X+\left(Y_1-\frac{Ls}{Gb}X_1\right)$$

稳定操作时,Gb、Ls、X_1、Y_1都不变,上式可表示为一直线,斜率为 Ls/Gb。

图 10.2 任意截面的物料平衡

图 10.3 吸收平衡线与操作线

由于任一截面上气相中污染物浓度总大于液相的平衡浓度,所以操作线总在平衡线上方。

(5)最小液气比和实际操作线

最小液气比与吸收剂用量有关。提高液气比(图 10.4 中 AC 线),操作线斜率增大,溶液出口浓度下降,吸收液用量增加,操作费用亦上升,但设备接触面积下降,故设备费下降;液气比下降,操作线斜率变小,操作线接近平衡线,推动力下降,溶液出口浓度升高,吸收液用量减少,操作费用下降,但设备接触面积增加,设备费亦上升。

图 10.4 最小液气比时的操作线

当操作线为 AE 线时,塔底推动力趋向"0",表示为取得一定的吸收效果需要无限大的接触面积

$$\left(\frac{Ls}{Gb}\right)_{min} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_{e1} - X_2}$$

实际操作线作法:

①将按摩尔分数给出的平衡关系变换成以摩尔比 X、Y 表示,作出平衡线 OE。

②按所给条件算出以摩尔比表示的进、出口气体组成与进口液体组成,作出操作线。

③从曲线上读出对应于 Y_1 的 Y_{e1},绘出最小液气比的操作线。

④计算出$\left(\frac{Ls}{Gb}\right)_{min}$。

⑤计算出实际液气比

$$\frac{Ls}{Gb} = (1.1 \sim 1.2)\left(\frac{Ls}{Gb}\right)_{min}$$

⑥计算吸收液出口浓度 X_1

$$X_1 = \frac{Y_1 - Y_2}{\frac{Ls}{Gb}} + X_2$$

⑦连接 A(X_2, Y_2)和 B(X_1, Y_1)得到实际操作线。

(6)填料层高度

填料层高度可以表示为

$$H = \frac{G}{K_y \cdot a}\int_{y_2}^{y_1}\frac{dy}{y - y_e} = H_g \cdot NTU$$

式中：H 为填料层高度，m；G 为混合气体通过塔截面时的摩尔流速，kmol/（m^2 · s）；L 为吸收液通过塔截面的摩尔流速，kmol/（m^2 · s）；a 为单位体积填料层所提供的传质面积，m^2/m^3；K_y 为气相总传质系数，kmol/（m^2 · s），通常 K_y · a 联在一起测，称为气相总体积传质系数，kmol/（m^3 · s）；X、Y 为摩尔分数；H_g 称为传质单元高度，$H_g = \frac{G}{K_y \cdot a}$；NTU 称为传质单元数，$NTU = \int_{y_2}^{y_1}\frac{dy}{y - y_e}$。

传质单元数 NTU 可以用于评价吸收设备的吸收效率，NTU 取决于待吸收的污染物特性、传质系数、吸收液浓度、温度、设备类型等。增加气液接触面积、提高液相压力、降低气体流速、降低吸收液温度可以提高传质单元数。

当平衡线为直线时

$$H = \frac{G(y_1 - y_2)}{K_y \cdot a \cdot \Delta y_m}$$

全塔平均推动力 Δy_m：

$$\Delta y_m = \frac{\Delta y_1 - \Delta y_2}{\ln\frac{\Delta y_1}{\Delta y_2}}$$

当平衡线为曲线时，应采用图解积分法求出 NTU：

①绘出平衡线与操作线。

②在 y_1、y_2 间选若干个 y，在图上读出相应的 y_e，算出对应的 $y - y_e$。

③另外绘出 $1/(y - y_e)$ 对 y 的曲线，曲线下 y_1 到 y_2 的面积，即是所求的 NTU。

NTU 也可由经验数据获得，表 10.4 给出了典型吸收器的 NTU。

表 10.4 典型吸收器的 NTU

吸收器类型	气体速度 /(m·s⁻¹)	每 m³废气的用水量/ L	每个设备单元或每米塔高的 NTU	传质系数 /(101kPa·m³·h)
喷淋塔	0.25	1.7	0.55/ m 塔	315
	0.50	1.7	0.25/ m 塔	315
	1.0	1.7	0.13/ m 塔	315
填料塔	0.45	1.6	0.9/ m 填料	1100
	0.95	1.6	0.5/ m 填料	1100
	1.90	1.6	0.35/ m 填料	1100
喷淋错流	1.9	5～6	0.12/ m	600
填充错流	1.6～1.8	5～6	1.62.2/ m 填料	1400～1600
文丘里	40(喉管)	1.5	1.6/ 单元	—
	50	1.7	2.0/ 单元	—
	60	0.5	2.4/ 单元	—

图 10.5 最小液气比时的操作

图 10.6 最小液气比时的操作

④求传质单元高度 H_g

$$H_g = \frac{G}{K_y \cdot a}$$

G 为已知数,因此求 H_g 关键是需求出气相总体积传质系数 $K_y \cdot a$, $K_y \cdot a$ 可以通过一些传质系数关联式计算出,亦可以查阅有关化工手册得到,表 10.5 给出了一些常见的大气污染物在一定条件下吸收的传质系数。但无论根据有关传质系数关联式计算出的,或是根据有关手册或文献中所查得的传质系数,大都是根据实验装置所取得的数据整理而得,工业装置的塔径、传质区高度、气体流动及分布情况与实验装置差别较大,因此工业塔实际传质系数常低于计算值,故设计时应取较大的

表 10.5　一些大气污染物吸收时的传质系数

污染物	条件	传质系数	单位	数值
空气和氨的混合气用水吸收	0.1 MPa,20℃	K_ya	kmol/(m²·s)	0.088
空气和 SO_2的混合气用水吸收	100kN/m²,20℃	K_ya	kmol/(m²·s)	0.029
空气和苯的混合气用煤油吸收	100kN/m²,50℃	K_ya	kmol/(m²·s)	0.015
空气和丙酮的混合气用水吸收	0.1 MPa,25℃	K_ya	kmol/(m²·s)	0.052

设计裕量。

⑤求填料层高度 H

$$H = H_g \cdot NTU$$

(7)塔径、塔压降计算

①由混合气体的处理量和合理的操作气速确定塔截面积 A。

操作气速 = (0.60～0.80)泛点气速

泛点气速可根据液、气量、密度、填料种类、放置方法查化学工程手册得到。

②按经验值估算。对一般无机气体吸收,可取操作气体线速度(空塔气速) v = 0.8～1.5 m/s。

$$D = \frac{G}{0.785 \times v \times 3600}$$

③塔压降。按操作速度、密度、填料种类、放置方法求出

$$\frac{v^2 \Phi\phi}{g}\left(\frac{\rho_v}{\rho_t}\right)\mu \cdot 0.2$$

查填料塔的泛点和压降选用关联图,得出压降。(《化学工程》第二册,p.240图12.42)。

塔压降计算亦可采用阻力系数法,具体计算方法可参照有关化工手册。

(8)设备简图

按要求绘制设备简图交设备专家进行结构设计。设备简图要工艺特性如工作温度、压力、密闭要求、物料性质等;设备技术特性:操作情况、尺寸、材料、容积、传热面积、保温材料及厚度、搅拌要求、安装要求等;接管:直径、材料、连接方式、用途等设备等。

实例 10.1　催化水解法处理含光气尾气

光气为窒息性剧毒物质,学名为碳酰氯,常温下为无色气体,易溶于苯、甲苯、氯苯、煤油等有机溶剂,几乎不溶于水,具有烂苹果味或烂甘草味。

对于含光气尾气,工业上通常采取催化水解法-碱破坏法处理,其反应原理见以下反应式。

$$COCl_2 + H_2O \xrightarrow{} CO_2 + 2HCl$$

$$COCl_2 + 4NaOH \xrightarrow{F} Na_2CO_3 + 2NaCl + 2H_2O$$

该尾气含有大量副产氯化氢及未来得及反应的过剩光气。尾气由风机顺序抽至膜式吸收器、两级 SN-7501 催化水解塔、碱破坏塔,清水从第二级 SN-7501 催化水解塔加入,催化水解塔中装有 SN-7501 高效催化剂,在酸性条件下破坏光气,水解生成稀盐酸,再逆流逐次作为第一级 SN-7501 催化水解塔、膜式吸收器的吸收液,最后成 25%～30% 浓度的盐酸回收。尾气中微量光气再经碱破坏塔中 12%～15% 液碱分解后,经排气筒排入大气。

SN-7501 催化水解对光气的单级水解率达 90%,末级碱破坏对残余光气的破坏率达 92%～95%。工艺框图见图 10.7。

图 10.7　光气尾气处理工艺框图

实例 10.2　干式吸收法脱硫

SO_2是最常见的大气污染物之一,主要产生与燃料燃烧、化工、橡胶制品生产等过程中。各类脱硫工艺比较见表 10.6。

表 10.6　脱硫工艺比较表

	普通石灰石-石膏工艺	喷雾干燥法	炉内喷钙 + 尾部增湿	氧化镁法	旋流板塔湿式吸收法
技术成熟程度	成熟	成熟	成熟	成熟	成熟
适用煤种	不限	中低硫煤	中低硫煤	中低硫煤	不限
单机应用经济性规模	200MW 及以上	100MW 及以下	200MW 及以下	200MW 及以下	200MW 及以下
脱硫率	95% 以上	75% ～80%	75% ～80%	90% 以上	75% ～90%
吸收剂	石灰石/ 石灰	石灰	石灰石	氧化镁	石灰/ 碱液/ 电石渣等
吸收剂利用率	90% 以上	50% ～70%	约 40%	90% 以上	85% 以上
副产物	石膏	亚硫酸钙	亚硫酸钙	硫酸镁	亚硫酸钙/ 硫酸钠等
副产物处置	利用	抛弃	抛弃	回收	抛弃
废水	有	无	无	有	少量
占地面积	大	中	小	中	中
市场占有率	高	一般	一般	低	一般(国内最高)

从上表中可以看出,以氢氧化钙或其他与 SO_2 具有反应性的干粉或浆液作为脱硫剂的干式脱硫法,以其突出的特点得到了飞速发展。国外自 20 世纪 90 年代以来,已建成了最大处理烟气量达 200000N m^3/ h 的装置,脱硫效率达 95% ～97%。国内也陆续建成了若干套工业装置。

干式脱硫法的典型工艺流程见图 10.8,烟气由风机自流化反应器底部抽入,

图 10.8　干式吸收法脱硫工艺流程

氧化钙细粉与水反应消化后加入流化反应器,与烟气混合成流化态,反应生成亚硫酸钙、硫酸钙,混合烟气自流化反应器顶部排出,经除尘器气固分离,净化后烟气则经排气筒排放,分离出的脱硫剂粉一部分经送回反应器循环反应,部分排出回收。

表 10.7 干式吸收法脱硫的优缺点

优点
①该工艺可脱除 SO_2和烟尘,脱硫效率高达 90 %～95 %,远高于通常采用的湿式水膜脱硫
②脱硫产物主要成分为氢氧化钙、硫酸钙、亚硫酸钙、灰分等,可以综合利用作建筑材料,无二次污染
③不仅适用于大型锅炉,也可用于中、小型锅炉、窑炉等的烟气脱硫除尘
④设备腐蚀小
⑤可在锅炉 50 %～100 % 负荷下稳定运行
缺点
投资较高

第二节 吸 附 (Adsorption)

当废气与某些多孔性物质(吸附剂)接触时,废气中的污染物(吸附质)由于分子间力而被吸附在吸附剂上,废气得到净化。精细化工、涂料、油漆、塑料、橡胶等生产过程排出的含溶剂或有机物的废气,常可用活性炭、吸附树脂、活性碳纤维、分子筛、其他化合物或某些天然物质等吸附剂进行吸附净化。吸附剂吸附饱和后,可经物理或化学方法解吸(再生)回收吸附质。吸附法通常也用于废气中有一种或几种浓度较高、有回收意义时的废气处理中。

表 10.8 吸附法处理废气应用

污染物	吸附剂	吸附工艺	解吸方法及主要工艺参数	吸附效率/ %
二氧化碳	分子筛	变压吸附		
氢	硅胶	变压吸附		
苯、甲苯、二甲苯、丙酮、乙醇、乙醚、甲醛、煤油、汽油、苯乙烯、氯乙烯、氯代甲烷类、氯气、二硫化碳	活性炭、活性碳纤维		热空气、有机溶剂	
NO、NO_2、SO_2、、H_2S、NH_3、CO、CO_2	活性碳纤维		热空气、无机酸碱	
二氧化硫	含氮活性炭		空塔气速 500 h^{-1}	90

表 10.9　吸附法处理废气的优缺点

优点
①可以相当彻底的净化空气,即可进行深度净化
②对于低浓度废气的净化,比其他方法有更大的优势
③在不使用深冷、高压等手段下,可以有效地回收有价值的有机物组分
缺点
由于吸附剂对被吸附组分吸附容量的限制,吸附法最适于处理低浓度废气,对污染物浓度高的废气一般不采用吸附法治理

(1)吸附剂再生

吸附剂吸附污染物(吸附质)后,其吸附能力将逐渐降低,直至饱和。此时若改变体系条件,使吸附质在气相中的浓度低于与吸附剂上吸附质成平衡的浓度时,被吸附的污染物会从吸附剂上脱离而进入气相,这种现象称为解吸,同时吸附剂得到再生,重新获得了吸附能力。常用的吸附剂再生方法见表 10.10。

表 10.10　吸附剂再生方法

吸附剂再生方法	特点
热再生	使热气流(蒸汽或热空气)与床层接触直接加热床层,解吸吸附质,恢复吸附剂吸附性能
降压再生	再生时压力低于吸附操作时的压力,或对床层抽真空,使吸附质解吸出来,再生温度可与吸附温度相同,如气体变压吸附。
通气吹扫再生	向再生设备中通入基本上无吸附性的吹扫气,降低吸附质在气相中分压,使其解吸出来。操作温度愈高,通气温度愈低,效果愈好
置换脱附再生	采用可吸附的吹扫气,置换床层中已被吸附的物质,吹扫气的吸附性愈强,床层解吸效果愈好,比较适用于对温度敏感的物质。为使吸附剂再生,还需对再吸附物进行解吸
化学再生	向床层通入某种物质使吸附质发生化学反应,生成不易被吸附物质而解吸下来

(2)吸附质回收

以热再生等方法解吸出的吸附质经冷凝、静置后不溶于水的溶剂可与水分层,易于回收;水溶性溶剂与水不能自然分层,可利用其与水的沸点差异,采用精馏的方法分离回收。

(3)吸附及解吸流程

典型吸附及解吸流程见图 10.9。

有机废气经冷却过滤器降温及除去固体颗粒物后,经风机进入吸附器,吸附后气体排空。吸附饱和后经阀门转换通入空气,经预热器加热,热空气加热吸附床

图 10.9 典型吸附及解吸流程

层,解吸吸附质,混合气进入冷凝器用冷水冷凝,有机物冷凝流入分离器回收,尾气排放。

10.2.1 吸附塔工艺设计(Adsorption Tower Technological Design)

(1)设计目的

确定吸附剂用量、确定设备尺寸(传质区高度,塔径)。

(2)设计条件

应给出气体处理量,进口浓度、要求的出口浓度(或吸收率)。

(3)筛选吸附剂

由实验选出的吸附剂、吸附剂粒度、装填密度、床层的间隙率、确定空塔气速等。

吸附剂应满足下列要求:具有大的比表面和孔隙率;具有良好的选择性;吸附能力强,吸附容量大;易于再生;机械强度、化学稳定性、热稳定性等性能好,使用寿命长;廉价易得。

(4)作出吸附等温线和操作线

根据文献资料或实验作出吸附等温线;按给定的设计条件作出操作线。

(5)求传质单元数 NTU

根据吸附等温线和操作线,以图解积分法求出 NTU。

(6)求总体积传质系数 $K_f \cdot a$

吸附时,总体积传质系数与气膜体积传质系数和固膜体积传质系数有关,可用以吸附剂粒径为基准的 Re 数与 $(K_f \cdot ad^2)/D_s$ 的关系,查有关化工手册,得到 $(K_f \cdot ad^2)/D_s$,计算得到 $K_f \cdot a$,再计算出传质单元高度 H_g(D_s 为扩散系数)。

(7)求传质区高度 H

$$H = H_g \cdot NTU$$

由于手册或文献中所查得的有关传质系数经验式或准数关系式,大都是根据

实验装置所取得的数据整理而得,工业装置的塔径、传质区高度、气体流动及分布情况与实验装置差别较大,因此工业塔实际传质系数常低于计算值,故设计时应取较大的设计裕量。

(8)塔径计算

由废气处理量和合理的空塔气速确定塔截面积 A。空塔气速可根据废气中污染物浓度量、气体密度、吸附剂种类、放置方法等有关,可经实验或查阅有关文献得到。

$$D = \frac{G}{0.785 \times V \times 3600}$$

10.2.2　变压吸附(Pressure Swing Adsorption,PSA)

通常的吸附操作为变温吸附,需外加热源使吸附剂受热解吸再生。PSA 分离以压力为热力学参数,在压力下气体组分吸附,减压时被吸附组分解吸,放出被吸附组分,吸附剂得到再生,可再进行吸附,周而复始,成为一个循环过程。PSA 一般在常温下工作,称为无热源吸附分离过程。

1. 应用

可将气体混合物分离得到纯组分,也可将不纯气体中的杂质组分脱除以精制气体。目前在化工合成原料气、城市煤气、天然气、石油炼厂气、烟道气以及磷肥、硫酸、硝酸、有机物合成等生产过程中硫化氢、有机硫、二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫、氟化物、氧化氮、挥发有机物等其净化过程,酒精等生产过程中二氧化碳的回收等方面都可以得到应用。

PSA 所用吸附剂有分子筛、硅胶等(表 10.11)。

表 10.11　变压吸附硅胶技术指标

项　目		指标	数值(2～5mm)
吸附量	RH = 20%	≥10.5	11.7
	RH = 50%	≥23.0	26.8
	RH = 90%	≥36.0	36.4
加热减量/ %		≤2.0	1.1
球型合格率/ %		≥85.0	92.5
堆积密度/ (g/L)		≥720	782
粒度合格率/ %		94	99.8
静态吸附容量/ (mL/g)		$N_2$1.31,$CO_2$29.6	

下面介绍几种常用的吸附剂及其应用参数。

2 活性炭

活性炭是最常用的吸附剂之一,分为粒状和粉状两大类。活性炭具有发达的孔结构,比表面积大,可吸附的有机物种类多,吸附容量较大,并在水蒸气存在下也可对混合气中的有机组分进行选择性吸附。通常活性炭对有机物的吸附效率随相对分子质量的增大而提高。

活性炭的物性参数见表 10.12。

表 10.12 活性炭物性参数

项目	单位	粒状活性炭	粉状活性炭
真密度	g/cm^3	2.0～2.2	1.9～2.2
粒密度	g/cm^3	0.6～1.0	
堆积密度	g/cm^3	0.35～0.6	0.15～0.6
孔隙率	%	33～45	45～75
细孔容积	g/cm^3	0.5～1.1	0.5～1.4
平均孔径		1.2～4.0	1.5～4.0
比表面积	m^2/g	700～1500	700～1600

表 10.13 活性炭吸附废气时主要设计参数

项目	单位	数值
吸附温度		常温
吸附层空塔气速	m/s	0.2～0.5
脱附蒸汽		低压蒸汽,约为 110℃左右
脱附周期		应小于吸附周期,若脱附周期等于或大于吸附周期,则应采用多个吸附器并联操作

用活性炭吸附有机化合物的时再生方法,最常用的是水蒸气解吸法,以高温水蒸气将吸附质解吸后,利用有机化合物与水的不互溶性,经冷凝、分离后回收有机溶剂。

但并不是所有被活性炭吸附的有机化合物都可以用这种方法解吸。有些有机溶剂被活性炭吸附后,用水蒸气脱附困难,则应采用其他方法进行再生。适宜于用水蒸气再生的有机化合物列于表 10.14,难于用水蒸气再生的有机化合物列于表 10.15。

表 10.14　某些适用水蒸气再生的有机化合物

丙酮	燃料油	干洗溶剂	三氯乙烯
黏着剂溶剂	汽油	醋酸乙酯	四氢呋喃
醋酸戊酯	碳卤化合物	乙醇	二氯甲烷
苯	庚烷	甲醇	矿油精
粗苯	乙烷	二氯化乙烯	甲基氯仿
溴氯甲烷	脂族烃	干洗溶剂汽油	二乙醚
醋酸丁酯	芳族烃	氟代烃	二甲苯
丁醇	异丙酮	冷冻剂(碳卤化合物)	甲苯
二氧化硫	酮类	三氯乙烷	全氯乙烯
四氯化碳	丁酮	氯苯	脱脂溶剂

表 10.15　难以用水蒸气从活性炭中去除的有机化合物

丙烯酸	二异氰酸甲苯酯	丙烯酸异癸酯
丙烯酸丁酯	三亚乙基四胺	异佛尔酮
丁酸	戊酸	甲基乙基吡啶
二丁胺	谷朊醛	甲基丙烯酸甲酯
二乙烯三胺	丙烯酸异丁酯	苯酚
丙烯酸乙酯	丙烯酸-2-乙基己醇	皮考啉
2-乙基己醇	丙酸	

3. 活性碳纤维

活性碳纤维是以有机聚合物或沥青为原料生产的,灰分低,其主要元素是碳,碳原子在活性碳纤维中以类石墨微晶的乱层堆叠形式存在,三维空间有序性较差,经活化后生成的孔隙中,90 % 以上为微孔,因此活性碳纤维的内表面积十分巨大。

活性碳纤维还具有较大的外表面积,而且大量微孔都开口在纤维表面,吸附和解吸途径短,吸附质可以直接进入微孔,因此吸附速度快。而活性炭需要经过由大孔、过渡孔构成的较长的吸附通道。

活性碳纤维孔径分布狭窄,孔径比较均匀,暴露在纤维表面的大部分是 20 左右的微孔,具有一定的选择吸附性,解吸比活性炭易控制。

活性碳纤维的表面含有一系列活性官能团,主要是含氧官能团,如羟基、羰基、羧基、内酯基等。有的活性碳纤维还含有胺基、亚胺基以及磺酸基等官能团。其含氧团的总量一般不超过 1.5 meq/g,活性碳纤维表面官能团对吸附有明显的影响,如聚丙烯腈基活性碳纤维表面存在 N 官能团,所以它对含 N、S 化合物具有独特的吸附能力。

活性碳纤维对有机化合物蒸气有较大的吸附量,对一些恶臭物质,如正丁基硫

醇等吸附量比粒状活性炭大几倍、甚至几十倍。对无机气体如 NO、NO_2、SO_2、、H_2S、NH_3、CO、CO_2以及 HF、SiF_4等也有很好的吸附能力。

表 10.16 ACF与 GAC对有机物的平衡吸附量对比(20℃饱和蒸气压下)

被吸附物质	毡状活性碳纤维(质量%)	粒状活性炭(质量%)
丁基硫醇	4300	117
二甲基硫	64	28
三甲胺	99	61
苯	49	35
甲苯	47	30
丙酮	41	30
三氯乙烯	135	54
苯乙烯	58	34
乙醛	52	13
四氯乙烯	87	70
甲醛	45	40

由于活性碳纤维外表面积比粒状活性炭大 1～2 个数量级,而且许多微孔直接开口在纤维表面上,可以直接接触吸附质分子,所以,ACF 的吸附速度快。比粒状活性炭高 2 至 3 个数量级,对气体的吸附一般在数十秒或几分钟内达到吸附平衡。

由于纤维较细,外表面容易被加热,所以脱附的速度也很快。例如吸附甲苯后脱附时,用 N_2作脱附载体在 150℃进行脱附,ACF 约 3min 就完全脱附,而 GAC 只能稍微脱附。

在表面吸附中,孔径越小,其吸附力场越大。由于活性碳纤维中 90% 是微孔,所以,活性碳纤维对低浓度吸附质,即使对体积分数为 10^{-6}数量级吸附质仍保持很高的吸附量。毡状活性碳纤维对甲苯的吸附可以在 10μl/ L 的低浓度范围内进行,而粒状活性炭最低吸附浓度为 100μl/ L 左右。

由于活性碳纤维的吸附容量大,吸附速度快,又能吸附低浓度的分子,所以,用活性碳纤维吸附核处理废气时,不会出现‘漏吸’现象,采用活性碳纤维时,吸附层厚度可以比粒状活性炭薄,在相同条件下,活性炭毡厚度 5mm 就可以达到隔断甲苯气体的目的,而用 10mm 粒状活性炭层还达不到同样的目的。

活性碳纤维具有气相催化氧化和催化还原的性能。通过用 H_2SO_4活化 ACF,使其表面具有催化作用,可以在 NH_3存在下把 NO 还原成 N_2,可用于汽车尾气治理。在活性碳纤维表面载附 $PdCl_2$-$CuCl_2$-$Cu(NO_3)_3$后,可在室温条件下将 4×10^3 μl/ L 的 CO 催化氧化成 CO_2转化率达到 90%。又如载附 Fe、Cu、Co 或 Ni 等金属

盐,经热处理制得的具有催化还原特性的活性碳纤维,可将 NO 还原为 N_2(有 NH_3 存在),转化率达到 90%。用 Cu 和 Co 混合催化剂,将获得更好的催化还原效果。

可与活性碳纤维吸附的有机化合物种类有苯、甲苯、二甲苯、苯乙烯、丙酮、环己酮、乙酸乙酯、乙酸丁酯、异戊酸甲酯、香蕉水、甲醇、乙醇、丁醇、异丙醇、挥发性汽油、柴油等。

表 10.17　活性碳纤维吸附法处理废气的优缺点

优点
①可回收易分解、易聚合和高沸的有机溶剂,如三氯乙烷、苯乙烯、甲基丙烯酸甲酯、三甲苯、六甲苯、酚
②回收的溶剂质量好,回收率高,可达 99%
③装置小型化,回收质量中吸附材料的装填只有一般活性炭的 1/20。处理含苯气体时,在相同的吸附条件下,活性碳纤维的气体处理流量是粒状活性炭的五倍
④操作安全。由于吸附产生的蓄热量少,避免了发生吸附层过热现象
缺点
价格相对较高

实例 10.3　活性碳纤维处理黏胶纤维生产废气

黏胶纤维工厂的废气含有 H_2S 和 CS_2 气体,需分两步处理,先处理 H_2S 后再回收 CS_2,对 H_2S 的处理已有各种方法,对 CS_2 的回收则往往困难些,日本东洋纺织公司所属岩国工厂用活性碳纤维(VF-1500)回收人造丝厂废气中的 CS_2,其方法是:脱除了 H_2S 的废气经鼓风机送入吸附罐 21min 后通水蒸气(4kg/cm^2)进行解吸,解吸时间 21min,其中通氮气置换氧气 5min,而后通地风干燥 21min,由 3 个吸附罐循环重复上述过程,每个罐体积为 460×1100mm,其中每个罐用活性碳纤维 9kg。解吸后的 CS_2 经冷却器冷凝再由分离器将水和 CS_2 分开,成品 CS_2 送至 CS_2 库。

4. 沸石

沸石是呈架状结构的多孔性含水铝硅酸盐晶体的总称。所有沸石的化学式可以用下列通式表示:

$$(Na,K)_x(Mg,Ca,Sr,Ba)_y\ Al_{x+2y}Si_{n-(x+2y)}O_{2n}\cdot mH_2O$$

沸石具有独特的结构和晶体化学性质,同时具有吸附、离子交换、催化等特性,耐酸、耐辐射、密度小,在工业废气处理方面具有良好的应用前景。

我国浙江缙云所产天然沸石矿物主要有丝光沸石和斜发沸石。

丝光沸石属斜方晶系,颜色为白色、蛋黄色,呈纤维状、毛发状,集合体呈束状、放射球粒状、扇状等。在晶洞中,纤维长度可达 1mm,纤维束集合体的大小,一般为 0.01～0.03mm,大者可达 0.06～0.1mm。硬度为 3～4,介电常数为 6.5～7.0,

密度为 2.1g/cm^3,常温下不溶于酸。镜下为无色透明,具明显的负突起,折光率 Ng=1.4760,干涉色很低,一级灰-灰白色,负延长,球粒状集合体成黑十字消光。

缙云丝光沸石具多孔大表面,因此它具有良好的吸附性能。其吸水性很强,吸水量可达 10%～12%,干燥深度可至 1×10^{-6} 以下。又由于其具有优良的抗酸性,因此成为一种难得的酸性气体干燥剂。缙云丝光沸石对 N_2 的吸附量为 9～16mL/g(20℃),是良好的固氮吸附剂,可用于空气分离和富氧。

斜发沸石属单斜晶系,颜色为白色、淡黄色。呈宽板条状、细板条状、不规则粒状等。宽板条状者,粒径一般在 0.02～0.05mm,大者可达 0.1～0.25mm,长与宽之比为 4:1。{010}解理完全。细板条状者,粒径在 0.01～0.03mm,长与宽之比为 6:1。硬度为 3.5～4,介电常数为 7.0～7.5,密度为 2.16。常温下不溶于盐酸、硝酸、磷酸和醋酸,微溶于硫酸,缓溶于草酸。镜下为无色透明,具明显的负突起,Ng=1.4865,Np=1.4829。板条状者呈平行消光,干涉色很低,一级暗灰-灰色,负延长。不规则粒状者呈波状消光,有的呈蓝灰色、浅棕色异常干涉色。二轴晶,正光性,光轴角中等。缙云斜发沸石的比表面积较小。

(1)沸石吸附影响因素

天然丝光沸石和斜发沸石对多种气体污染物有良好的吸附能力,其吸附量因矿石品位而异。影响因素有沸石处理方法、沸石粒度、污染物浓度、气体温度等。

①脱水温度对吸附二氧化硫的影响。将 20～40 目的沸石于不同温度脱水至恒重,吸附含二氧化硫及二氧化碳的空气,结果表明,天然沸石脱水以 250℃恒重较好,在此条件下,吸附量最高。

②污染物浓度对吸附量的影响。气体污染物浓度较低时吸附量较小,但达到一定浓度后,变化不大。

③气体流速对吸附量的影响。改变气体流速即改变了气体与吸附剂的接触时间,流速大,吸附量降低。

④沸石粒度对吸附量的影响。在相同条件下沸石的吸附量随粒度增大而下降,但较细的沸石(如≤0.3mm)容易吹走,即使流速很低,仍难免有移动现象,致使吸附量降低。

⑤气体温度对吸附量的影响。温度低有利于气体吸附,但工业尾气一般均高于室温,因此必须适当降温。

(2)沸石解吸

在不同温度下对已吸附二氧化硫的沸石用干燥空气解吸,沸石吸附实验室人工配气的 SO_2 解吸是较容易的。

实例 10.4　天然沸石吸附二氧化硫和氮氧化物

为提高天然沸石对二氧化硫的吸附量,可采用适当方法对沸石加以处理,如盐酸法、硫酸法、铵离子交换法等。

例如以含斜发沸石 75％～80％的天然沸石吸附空气混合气中的二氧化硫,二氧化硫浓度为 0.2％～2.0％,吸附温度 20～150℃,于 300～350℃解吸,解吸率为 70％～75％。

利用天然沸石吸附硫酸厂尾气中二氧化硫,净化程度很高,在每次吸附循环的前、中阶段基本达到零排放,在最后数分钟也只有 20×10^{-6}～100×10^{-6},吸附的二氧化硫解吸后,可回收重新利用,但尾气中的水分、二氧化硫及硫酸雾对吸附量有影响。

表 10.18　天然沸石对不同吸附质的饱和吸附量

吸附质	饱和吸附量/(mg·g)
二氧化硫	200.00
空　　气	80.95
二氧化碳	81.30
NO_x	64
氮	26.76
氢	0

未经处理的天然沸石原矿由于其他杂质堵塞结构通道和 Na^+、Ca^{2+} 等阳离子效应,使之对 NO_x 的吸附容量较小,经一定的处理,使孔道疏通和离子改型后则能大大提高其吸附容量。

天然沸石对氮氧化物的吸附,按 $H_2O > NO_2 > N_2 > NO > O_2$ 顺序递减。其中 H_2O、NO_2 被强烈吸附,在有氧存在的条件下,NO 则在沸石表面被催化氧化为 NO_2 而吸附,经吸附后的净化气体中 NO_x 含量可以小于 50×10^{-6}。

天然沸石经改性得到的 LGX-1 型吸附剂是一种良好的 NO_x 吸附剂。当 NO_x 浓度为 0.7％～1.2％,床层温度为 27～32℃,吸附空速为 $381h^{-1}$,吸附停留时间为 5.8s,沸石的转效吸附容量为 48～52 mL/g 时,经双塔串联 1/3 吸附时间以上,其吸附容量为 64 mL/g 以上。经吸附后的净化气中 NO_x 含量小于 50×10^{-6},干燥解吸气中 NO_x 尾气排放浓度可以控制在 200×10^{-6} 以下。解吸采用热空气,其解吸气可以返回制酸系统制酸。

第三节　热 分 解
(Thermolysis)

当废气中主要成分是有机污染物,数量较少或成分较复杂没有回收价值时,可采用热分解处理。

热分解是在高温下将有害气体、蒸气或微粒转变为无害物质的过程,又称为燃

烧净化。燃烧净化时所发生的化学作用主要是燃烧氧化作用及高温下的热分解。因此这种方法只能适用于净化那些较高浓度的可燃的或在高温情况下可以分解的有害气体。对化工、喷漆、绝缘材料等行业的生产装置中所排出的有机废气,广泛采用了燃烧净化的手段。燃烧方法还可以用来消除恶臭。

热分解时放出大量的热,可以回收热量。

热分解法可分为直接燃烧法、热力燃烧和催化燃烧法(催化氧化法)。

10.3.1 直接燃烧(Direct-flame)

所谓直接燃烧是把废气中可燃的有害组分作为燃料直接烧掉,由于必须在燃烧时放出的热量能够补偿散向环境中的热量时,才能保持燃烧区的温度,维持燃烧的持续,因此这种方法只适用于净化可燃有害组分浓度较高的废气,或者是用于净化有害组分燃烧时热值较高的废气。多种可燃气体或多种溶剂蒸气混合存在于废气中时,只要浓度值适宜也可以直接燃烧,如果可燃组分的浓度高于燃烧上限,可以混入空气后燃烧;如果可燃组分的浓度低于燃烧下限则可以加入一定数量的辅助燃料维持燃烧。

直接燃烧方法有下列两类:

(1)采用窑、炉等设备直接燃烧

直接燃烧的设备可以采用一般的燃烧炉、窑,或通过一定的平衡控制装置将废气导入锅炉作为辅助燃料进行燃烧。直接燃烧法不适于处理低浓度废气。

(2)火炬燃烧

火炬是石油炼制、石油化工、精细化工等行业处理可燃尾气,以及作为装置开停车、意外事故时处理各类可燃气的安全措施的专用燃烧设施,一般具有自动点火、自动流量控制等。

10.3.2 热力燃烧(Thermal Combustion)

当废气中可燃污染物含量较低时,燃烧氧化放出的热量不足以维持燃烧,被净化的废气不是作为燃烧所用的燃料,而是在含氧量足够时作为助燃气体,不含氧时则作为燃烧的对象,用燃烧其他燃料的方法(如煤气,天然气,油等),把废气温度提高到使其中的气态污染物进行氧化所需的温度,分解成 CO_2、H_2O、N_2等,该种燃烧净化方法称为热力燃烧。热力燃烧时所需温度较直接燃烧低,在 540～820℃即可进行。

1. 热力燃烧过程

为使废气温度提高到有害组分分解温度,需用辅助燃料来供热。但辅助燃料不能直接与全部要净化处理的废气混合,那样会使混合气中可燃物的浓度低于燃

烧下限,以致不能维持燃烧。如果废气是以空气为本底,即含有足够的氧,就可以用不到一半的废气来使辅助燃料燃烧,使燃气温度达到1370℃左右,用高温燃气与其余废气混合达到热力燃烧的温度。这部分用来助燃辅助燃料的废气叫助燃废气,其余部分废气叫旁通废气。若废气本底为惰性气体,即废气缺氧,不能起助燃作用,则需要用空气助燃,全部废气均作为旁通废气。热力燃烧的过程可分为三个步骤:

①辅助燃料燃烧以提供热量。

②废气与高温燃气混合,使混合气达到反应温度。

③在反应温度下,保持废气有足够的停留时间,使废气中可燃的有害组分氧化分解,达到净化排气的目的。

2　热力燃烧条件和影响因素

在热力燃烧中,废气中有害的可燃组分经氧化生成 CO_2 和 H_2O,但不同组分燃烧氧化的条件不完全相同。对大部分物质来说,温度在740～820℃:0.1～0.3s停留时间内即可反应完全;大多数碳氢化合物在590～820℃即可完全氧化,而CO和浓的碳烟粒则需较高的温度和较长的停留时间。因此温度和停留时间是影响热力燃烧的重要因素。此外高温燃气与废气的混合也是一个关键问题,在一定的停留时间内如果不能混合完全,就会导致有些废气没有升温到反应温度就已逸出燃烧区外,因而不能得到理想的净化效果。

由上可知,在供氧充分的情况下,反应温度(temperature)、停留时间(time)、湍流混合(turbulense)构成了热力燃烧的必要条件。

不同的气态污染物,在燃烧炉中销毁时所用的反应温度和停留时间不完全相同,某些含有机物的废气在燃烧净化时所需的反应温度和停留时间列于表10.19中。

表10.19　废气燃烧净化所需的温度、时间条件

废气净化范围	分解率/%	燃烧炉停留时间/s	反应温度/℃
碳氢化合物	>90%	0.3～0.5	680～820
碳氢化合物 + CO	>90%	0.3～0.5	680～820
臭味	50～90	0.3～0.5	540～650
	90～99	0.3～0.5	590～700
黑烟(炭粒和可燃粒)		0.7～1.0	760～1100

10.3.3　催化燃烧法(Catalytic Combustion)

催化燃烧法通过固体催化剂,使废气在较低温度下完全分解,可降低能耗,并

可对特定污染物进行处理,是一种非常有发展前途的废气处理方法。催化燃烧实际上为完全的催化氧化,即在催化剂作用下,使废气中的有害可燃组分完全氧化为CO_2和H_2O。由于绝大部分有机物均具有可燃烧性,因此催化燃烧法已成为净化含碳氢化合物废气的有效手段之一。又由于很大一部分有机化合物具有不同程度的恶臭,因此催化燃烧法也是消除恶臭气体的有效手段之一。

催化燃烧法已应用于金属印刷、绝缘材料、漆包线、炼焦、油漆、化工等多种行业中净化有机废气。特别是在漆包线、绝缘材料、印刷等生产过程中排出的烘干废气,因废气浓度较高、有机物浓度较高,对燃烧反应及热量回收有利,具有较好的经济效益,因此应用最为广泛。

表 10.20 催化燃烧法处理废气的优缺点

优点
①无火焰燃烧,安全性好
②燃烧温度要求低,大部分烃类和 CO 在 250～450℃之间即可完成反应,由于反应温度低,故辅助燃料消耗少
③对可燃组分浓度和热值限制较少
④无二次污染
缺点
①需进行预处理,去除废气中的尘粒和雾滴等,以延长催化剂使用寿命
②操作过程中的能耗大小以及热量回收的程度将决定催化燃烧法的应用价值

1. 催化剂

催化剂性能是影响催化燃烧法技术经济指标的重要因素。

用于催化燃烧的催化剂以贵金属 Pt、Pd 催化剂使用最多,这类催化剂活性好,寿命长,使用稳定。我国科研人员从我国的资源实际出发,开发出了性能良好的稀土催化剂、沸石催化剂等。

(1)稀土催化剂

以Al_2O_3为载体的催化剂。此载体可做成蜂窝状或粒状等,然后将活性组分负载其上,现已使用的有蜂窝陶瓷钯催化剂、蜂窝陶瓷铂催化剂、蜂窝陶瓷非贵金属催化剂、γ-Al_2O_3粒状铂催化剂、γ-Al_2O_3稀土催化剂等。

以金属作为载体的催化剂。可用镍铬合金、镍铬镍铝合金、不锈钢等金属作为载体,已经应用的有镍铬丝蓬体球钯催化剂、铂钯/ 镍 60 铬 15 带状催化剂、不锈钢丝网钯催化剂以及金属蜂窝体的催化剂等。

各种稀土催化剂的品种与性能见表 10.21。

表 10.21　稀土催化剂品种与性能

催化剂品种	活性组分含量/ %	2000h^{-1}下 90 % 转化温度/ ℃	最高使用温度/ ℃
Pt-Al_2O_3	0.1～0.5	250～300	650
Pd-Al_2O_3	0.1～0.5	250～300	650
Pd-Ni、Cr 丝或网	0.1～0.5	250～300	650
Pd-蜂窝陶瓷	0.1～0.5	250～300	650
Mn、Cu-Al_2O_3	5～10	350～400	650
Mn、Cu、Cr-Al_2O_3	5～10	350～400	650
Mn-Cu、Co-Al_2O_3	5～10	350～400	650
Mn、Fe-Al_2O_3	5～10	350～400	650
稀土催化剂	5～10	350～400	700
锰矿石颗粒	25～35	300～350	500

(2)沸石催化剂

近年来,我国科技人员开发成功了 NZP 、RMZ、RS 等系列沸石催化剂。

NZP 系列催化剂是广泛性的,对大多数有机物都有催化燃烧作用,但各型均有最适合的处理对象。催化剂的活性温度还和其他操作条件有关,如空速和浓度。空速越大,反应物和催化剂的接触时间越短,要求催化能力要强,活性温度也应相应提高。浓度大,单位时间内和催化剂表面接触的反应分子数目多,也要求提高活性温度以增加催化剂表面的活性中心的数目。为统一比较催化剂的活性,在小试评价中取 4500h^{-1}的空速,取 4～6g/ m^{3}的反应物浓度。在工业实际应用中,取 5000～20000h^{-1}的空速。

沸石催化剂的物理性质列于表 10.22

表 10.22　沸石催化剂的物理性质

催化剂	形　状	粒径/ mm	相对密度/ (g·cm^{-2})	比表面/ (m^2·g^{-1})
NZP-1	肉色天然形态	3～5	0.7～0.8	103
NZP-2	浅灰色天然形态	3～5	0.8～0.9	15～20
NZP-3	灰白色天然形态	3～5	0.8～0.9	30
	球形	3～5	～1	～30
NZP-4	球形	3～5	～1	～100
RMZ-1	球形	3～5	～1	～60
RS-1	白色天然形态	3～5	0.8～0.9	～100

2　NZP 系列催化剂的活性温度

活性温度是评价有机废水燃烧催化剂性能的最重要指标,它表示催化剂的氧

化能力。一般,可以其表面有机物发生完全氧化反应的最低温度(维持 99 % 转化的温度下限)表示。由于不同的有机物分子结构不同,它对催化剂活性中心的结构要求也不同,一般不同成分的有机废气需要用不同组成的催化剂才能净化。

表 10.23～表 10.26 给出了各型 NZP 型催化剂的反应活性参数。

从表 10.23 中可见,NZP-1 型催化剂对芳烃(苯、二甲苯)及醋酸、乙酸乙酯、间甲酚等含氧衍生物有较好的氧化活性。因此,NZP-1 型催化剂主要用于油漆、涂料等行业。

NZP-2 型催化剂对苯醌、萘、苯酐、顺酐等均有良好的氧化活性。因此,适用于萘法苯酐生产尾气中有机杂质的净化。

表 10.25 是 NZP-3 型催化剂的活性温度,该型催化剂主要用于邻二甲苯氧化制苯酐工厂的有机废气。它是一种广泛催化剂,对芳烃和除醌以外多数含氧衍生物均有很高的活性,反应温度特别低。

NZP-4 型和 BMZ-1 型催化剂的反应活性见表 10.26 和表 10.27。这二种催化剂特别适用于含氮(胺类、酰胺类、腈类和硝基化合物)有机废气的净化,其特点是在 250～400℃范围内可以使含氮有机化合物氧化成 N_2 而不产生氮的氧化物 NO_x。

RS-1 型催化剂的反应性能见表 10.28,它主要用于净化含硫有机废气,转化率高,稳定性好。

TFJF 型蜂窝状沸石催化剂的反应活性见表 10.29。从表可见,沸石催化剂制成蜂窝状后,在保持原有 NZP 型催化剂的高活性特点外,空速提高到 3×10^4 以上,气流阻力也大大减小,具有良好的应用前景。

表 10.23 NZP-1 型催化剂的反应活性

反 应 物	浓度/ ($g\cdot m^{-3}$)	下限反应温度/ ℃	转化率/ %
苯	2～3	180	> 99
二甲苯	4～7	200～220	> 99
乙酸乙酯	8～10	200～205	> 99
醋酸	5～6	234	> 99
丙酮	20～26	250～260	> 99
间甲酚/ 二甲苯	1～2	220①	> 99

表 10.24 NZP-2 型催化剂的反应活性

反 应 物	浓度/ ($g\cdot m^{-3}$)	反应温度/ ℃	转化率/ %
萘	1.2	190	～100
苯酐	1.6	180	～99
顺酐	2.8	180	～100
1,4-苯醌	0.5	190	～100

表 10.25　各种有机物在 NZP-3 型催化剂上的反应活性

反　应　物	浓度/ (g·m^{-3})	反应温度/ ℃	转化率/ %
二甲苯	3～5	170	99.6
苯	6～7	180	～100
苯　酚	4～5	200	～100
萘	2～4	220	99.9
苯　酐	0.8～1	190	～100
顺　酐	4～6	180	99.5
环己烷	8～9	190	～100
环己酮	9～10	190	99.9
丙　酮	10～15	270	98.4
环己烯	5～8	150	～100
甲基异丁基酮	5～7	150	～100
乙　酸	4～6	210	～100

表 10.26　NZP-4 型催化剂的反应活性

反　应　物	空速/ h^{-1}	浓度/ (g·m^{-3})	反应温度/ ℃	转化率/ %
正丁胺	10000	3～4	320	> 98
苯　胺	10000	1～2	320	> 95
硝基苯	10000	1～2	280	> 90
DMF	10000	4～6	280	> 98
甲乙酮	10000	4～6	260	> 98
甲　苯	10000	4～6	260	> 98
二甲苯	10000	4～6	260	> 98

表 10.27　BMZ-1 型催化剂的反应活性

反 应 物	空速/ h^{-1}	浓度/ (g·m^{-3})	反应温度/ ℃	转化率/ %
正丁胺	10000	3	280	> 98
DMF	10000	3～4	280	> 99
环己胺	5000	1～2	300	> 98
苯　胺	5000	1～2	320	> 98
硝基苯	5000	1～2	360	> 98
甲　苯	5000	4～6	320	> 98

表 10.28 RS-1 型催化剂的反应活性

反 应 物	空速/ h^{-1}	浓度/ ($g \cdot m^{-3}$)	反应温度/ ℃	转化率/ %
二氧化碳	10000	0.2～0.4	340	～100
乙硫醇	10000	4～6	350	99
混合二甲苯	10000	4～6	260	99

表 10.29 TFJF 型沸石催化剂的反应活性

反 应 物	空速/ h^{-1}	浓度/ ($g \cdot m^{-3}$)	反应温度/ ℃	转化率/ %
苯	30000	3～4	240	99
甲 苯	30000	4～5	220	98.4
二甲苯	40000	3～4	260	98.5
丙 酮	30000	4～5	270	98.5
环己酮	40000	3～4	220	96
乙酸乙酯	30000	4～5	320	97
冰醋酸	40000	4～5	300	99

3. NZP 系列催化剂的操作弹性和性能的稳定性

有机废气的排放和化工生产进气不同,它往往处于一种波动的状态,废气的浓度,甚至成分都经常变化。而催化燃烧反应床是一种绝热式的反应器,气体中可燃烧浓度的变化会造成催化剂床温的剧烈升降。而尾气净化在工厂内都是附属设备,不大可能安排专门工人精心操作,这也加剧了操作条件的波动。因此,要求催化剂有大的操作弹性(操作条件的可变幅度)和高的热稳定性。同时,还要求催化剂有一定的抗水气性和对硫等催化剂毒物耐受性,以保证维持较长的使用寿命。

表 10.30 是 NZP 系列催化剂对高温冲击的热稳定性。

表 10.30 NZP 系列催化剂的热稳定性*

催 化 剂	反 应 物	初活性/ ℃	热处理温度/ ℃	高温冲击后活性/ ℃
NZP-1	二甲苯/ 间甲苯	220	900	220
NZP-2	邻二甲苯	190	900℃,9h	210～220
NZP-3	邻二甲苯	180	800℃,3h	200

* 活性用邻二甲苯 99% 转化的温度下限表示。

从表可见,NZP 系列催化剂的热稳定性好,可以在 500～600℃下长时间运转而不失活性,短期可耐受 800～900℃的温度冲击。

表 10.31 是 NZP 系列催化剂的空速变动范围,表 10.32 是反应物浓度对催化

表 10.31　催化剂空速和活性

催化剂	反应物	空速/ h^{-1}	温度/ ℃	转化率/ %
NZP-1	苯	10000	200	>99
		15000	220	>99
		20000	240	>99
	二甲苯	10000	200	>99
		15000	220	>99
		20000	240	>99
	正丁醇	10000	160	>99
		15000	180	>99
		20000	200	>99
NZP-3	二甲苯	360	170	>99
		10000	200	>99
		15000	220	>99
		20000	240	>99
	顺　酐	5000	180	>99
		10000	180	>99
		15000	180	>99

性能的影响。

从表 10.31 可见，NZP 系列催化剂具有较大的空速范围，NZP-1 型催化剂在工厂实际使用的空速也在 5000～20000h^{-1}之间，而蜂窝型沸石催化剂可在 40000 h^{-1}空速下正常工作。

表 10.32　有机物浓度对催化剂活性的影响

催化剂	反应物	浓度/ ($g \cdot m^{-3}$)	温度/ ℃	转化率/ %
NZP-1	二甲苯	2～3	195	>99
		3～5	200	>99
		7～9	235	>99
NZP-2	邻二甲苯	0.82	170	>99
		5.2	190	>99
		10.7	200	>99
NZP-3	邻二甲苯	3.5	165	>99
		5.4	170	>99
		6.4	190	>99
		11.0	205	>99
		12.2	220	>99

从表可见,随反应物浓度增加,各型催化剂的反应活性温度均有上升,但幅度不大。实际废气中,有机物浓度一般不会超过 10g/ m^3,因此,在 200℃左右,就能很好地被催化燃烧。

表 10.33 是 NZP-2 型催化剂在水蒸气共存和硫酸处理后的活性温度,从表中可见反应气中混有 25g/ m^3 的水对活性没有影响,0.05mol/ L 硫酸的浸渍对活性也无明显影响,该催化剂对 H_2O 和硫有一定的耐受性。

表 10.33 NZP-2 催化剂对水和硫的耐受性

反应物	浓度/ (g·m^{-3})	水汽浓度/ (g·m^{-3})	硫酸处理情况	转化温度下限/ ℃
萘	1～1.5	无		190
	1～1.5	25		190
邻二甲苯	1～2		未经处理	180
	1～2		0.05mol/ L 硫酸浸后炒干	180

4. NZP 系列催化剂和国内有机废气燃烧净化催化剂的比较

表 10.34 是国内有关燃烧催化剂的性能比较,从以上两表可以看出,NZP 系列催化剂的活性高,价格低,与国内同类催化剂相比,各类有机物的完全转化温度

表 10.34 国内有机废气燃烧催化剂比较

催化剂	贵金属质量含量/ %	价格/ (元·m^{-3})	空速/ h^{-1}	完全转化(99 % 以上)深度			
				苯	甲苯	二甲苯	乙酸乙酯
NZP-1	0.025	2.6 万	10000～15000	220	210	210	235
Pd/ Al_2O_3 蜂窝载体	0.1	7.2 万	10000			300	
Pt、Pd 高 Ni 合金	Pt 0.8 Pd 0.1		20000	300 (己烷)			
Pd-6201	0.1		< 15000	300～330 (烃类)			
Pt-陶瓷蜂窝	0.1～0.2						
稀土、Pd		约 3 万	5000 10000			250～350	250～350
稀土钙钛型 Pd	Pd0.01	约 3 万		250～350 (丙烯)			

下限要低 50～100℃,含铂量一般只有国内外同类催化剂的 1/4～1/8,因此,价格在同类催化剂中也是最低的,这有利于生产和推广。

NZP 系列催化剂的优点与它使用天然丝光沸石为载体有关。前面已经提到沸石表面贵金属可以实现高分散,高分散提高了铂的利用率,使催化剂具有了高活性。高分散的结果还阻止了铂晶粒的凝聚,因而提高了催化剂的耐热性。另外,高度暴露的沸石表面,可以吸收硫等毒物,增加了催化剂对毒物的耐受性。

5. 催化燃烧法工艺流程

针对排放废气的不同情况,可以采用不同形式的催化燃烧工艺。但其基本组成有以下单元:

①预处理单元。预处理的目的是除去粉尘、液滴等防止催化床层的堵塞,以及除去有可能引起催化剂的中毒的有害组分。

②预热单元。为了使进入催化床层的气体温度达到与所用催化剂匹配的反应温度,对于低于起燃温度的进气,必须进行预热。

③催化燃烧单元。催化燃烧单元是整个系统的心脏,主要包括预热与燃烧两部分。

④热量回收单元。通过换热器等回收催化燃烧反应放出大量的反应热,以减少预热能耗。

表 10.35　燃烧法处理废气实例

污染源	污染物	主要工艺参数
环氧乙烷、乙二醇尾气	乙烯、乙二醇、乙醛	
甲醇生产合成弛放尾气	甲醇 0.6%,氢 90%,水 0.05%,硫微量	
甲苯	催化燃烧	浓度 2000～3000 mg/m^3,空速 20000 h^{-1},300℃,甲苯转化率≥96%
甲硫醇	催化燃烧	300～400 mg/m^3,空速 20000 h^{-1},催化层进口温度 350℃,甲硫醇出口残余浓度≤1ppm

10.3.4　燃烧法的热量回收(Heat Recovery of Combustion)

无论是直接燃烧法还是热力燃烧法,尾气热量回收程度是其技术经济指标的重要部分。燃烧法的热量回收,可以有以下途径:

①热量回用。通过热交换器或循环式的蓄热再生装置,使高温尾气与进口的低温废气进行热量交换,提高进炉废气的温度,节约辅助燃料。

②热净化气部分再循环。该法属于直接利用高温尾气。如将高温尾气引入烘炉、烤箱、干燥炉以及需要大量热气体的装置上直接使用,也可通过换热后加以利用。

③废热利用。可以通过换热装置或废热锅炉生产热水或蒸汽或以其他方式加以利用。

10.3.5 燃烧法处理废气设备(Apparatus of Control of Waste Gas by Combustion)

各类热力燃烧装置、催化燃烧装置等大部已有成套生产,工艺设计时,可按需处理废气量、废气中污染物组分、浓度等,进行选型。

表 10.36 直燃废气余热回用型焚烧炉

型号 type	HI HD	10	20	30	40	50	60	80	100	120	160	200
供热能力 thermal power	10^4kcal/h	10	20	30	40	50	60	80	100	120	160	200
热效率 efficiency	%	≥80										
		≥95										
输出温度 temperature	℃	≤350										
		≤650										
废气处理量 spent gas flow	m^3/h	350	650	1000	1300	1800	2000	2600	3500	4000	5200	7000
废气净化率 purge rate	%	≥98										
燃料品种 fuel		柴油、液化石油气、天然气 diesel、LPG、natural gas										

20 世纪 90 年代发展起来的蓄热式催化燃烧器(RCO)是一种新颖高净化率,低能耗的 VOC 污染治理设备。通过催化燃烧,将 VOC 中的 HC 化合物转化为 CO_2 和 H_2O,使有毒的废气变为无毒的气体,因而污染得到治理。

蓄热式燃烧系统由蓄热式烧嘴、自动控制系统和换向阀构成,燃烧装置成对安装,互相交替周期工作,一个烧嘴燃烧时,另一个烧嘴排烟。如图 10.10 所示,燃烧装置 A 的烧嘴燃烧(燃烧装置 B 排烟)时,产生的热烟气流经燃烧装置 B 的蓄热体排出,蓄热体吸收烟气中的热量,温度上升。经过一段时间后,换向阀换向,燃烧装置 B 的烧嘴燃烧(燃烧装置 A 排烟),其所需的助燃空气流经蓄热体时与蓄热体进行热交换,温度升高,燃烧产生的热烟气经由燃烧装置 A 的蓄热体排出,加热燃烧

装置 A 的蓄热体,烟气温度下降。由于蓄热体的阻力损失比较大,自然排烟的难度较大,烟气的排出须依靠引风机提供动力。如此周而复始,交替运行,整个过程自动控制。

图 10.10　蓄热式燃烧原理图

图 10.11　三体式蓄热式燃烧器示意图

蓄热式燃烧系统中,烧嘴、蓄热体和换向阀是主要部件。蓄热体通常有蜂窝型和陶瓷球两种形式,一般要求具有良好的导热系数、较大的单位体积蓄热量、较小的阻力损失、积灰后易清扫。换向阀一般采用专门设计的四通阀,由于换向动作频

表 10.37 CXCO 型蓄热式催化燃烧器规格

型号		CXCO-3500	CXCO-5000	CXCO-8000	CXCO-10000	CXCO-15000	CXCO-20000
净化流量/ ($m^3 \cdot h^{-1}$)		3500	5000	8000	10000	15000	20000
治理对象		各种类型的 VOC					
浓度/ ($mg \cdot m^{-3}$)		允许 100～10000;最佳 1000～1500					
净化率/ %		95～98(Ⅱ型)/ 98～99.5 (Ⅲ型)					
蓄热床换热效率 %		90～95					
催化床工作温度 ℃		350～650					
电热功率/ kW	装机	33(Ⅱ)/ 36(Ⅲ)	45(Ⅱ)/ 48(Ⅲ)	72(Ⅱ)/ 81(Ⅲ)	81(Ⅱ)/ 90(Ⅲ)	120(Ⅱ)/ 130(Ⅲ)	150(Ⅱ)/ 160(Ⅲ)
	平均消耗	8～18	10～24	15～32	18～40	24～60	40～80
选用风机	型号	9～26 No6.3D	9～26 No7.1D	9～26 No8D	9～26 No9D	9～26 No10D	9～26 No10D
	功率 kW	11	18.5	30	37	45	55
主机自重≈kg		4500(Ⅱ)/ 5000 (Ⅲ)	5500(Ⅱ)/ 6500 (Ⅲ)	7000(Ⅱ)/ 8000(Ⅲ)	7500(Ⅱ)/ 8500(Ⅲ)	11500(Ⅱ)/ 12500(Ⅲ)	14500(Ⅱ)/ 15500(Ⅲ)
安装面积≥ m^2		25(Ⅱ)/ 30 (Ⅲ)	30(Ⅱ)/ 40(Ⅲ)	35(Ⅱ)/ 45 (Ⅲ)	40(Ⅱ)/ 50 (Ⅲ)	50(Ⅱ)/ 60(Ⅲ)	60(Ⅱ)/ 70 (Ⅲ)

繁,要求其可靠性、耐久性以及密封性能好。

在现有各种治理 VOC 污染的燃烧法中,蓄热式燃烧运行费用(按能耗计)最低,具体比较数值参见下表 10.38。

表 10.38 各种燃烧器处理废气运行费比较

废气浓度 LEL/ %	运行费/ [元·($1000 m^3$)$^{-1}$废气]			
	间壁式换热器热力燃烧(TO)	间壁式换热器催化燃烧(CO)	蓄热式换热器热力燃烧(RTO)	蓄热式换热器催化燃烧(RCO)
1 % LEL	166.9	64.7	33.3	14.7
10 % LEL	98.4	21.8	9.4	9.4

表 10.39　蓄热式换热器催化燃烧优缺点

优点
①净化率高,二体式为 95%～98%,三体式为 98%～99.5%,无二次污染,适用面广
②能耗低,VOC 总浓度达到 1～1.5g/ m³,即可无耗运行,运行费用低。浓度在 3g/ m³以上时,热能可回用
③自动化程度高,管理方便,运行安全稳定
缺点
占地面积较大

第四节　冷 凝 法
(Control of Gaseous Pollutants by Condensation)

10.4.1　原理(Principle)

不同物质在同一温度下有不同的饱和蒸气压,同一种物质在不同的温度下饱和蒸气压亦不同,利用这一性质,将废气冷却或加压,将其中一种或几种污染物冷凝成液体或固体与废气分离、回收。该法常用于回收高浓度有机废气或低熔点物如汞、砷、硫、磷以及易升华物等,应用该法时,废气中粉尘和水蒸气同时被分离,处理后的废气可以达到很高的净化程度。

采用冷凝法时,冷凝出的污染物量可以估算:

$$\Delta x = x_1 - \frac{M_n}{M_r} \cdot \frac{P_2}{P - P_2}$$

式中:Δx 为冷凝出的污染物量,kg/ kg 惰性气体;x_1 为处理前废气中污染物浓度,kg/ kg 惰性气体;M_n 为污染物的相对分子质量;M_r 为惰性气体平均相对分子质量;P 为废气总压;P_2 为处理后温度下污染物的饱和蒸气压。

如处理前污染物已饱和,则冷凝量为

$$\Delta x = \frac{M_n}{M_r} \cdot \frac{P_1}{P - P_1} - \frac{P_2}{P - P_2}$$

式中,P_1处理前温度下污染物的饱和蒸气压。

10.4.2　流程(Flowage)

冷却凝固法处理有机物废气流程见图 10.12。

10.4.3　适用范围(Appliance Range)

①处理高浓度废气,特别是含有害物组分单纯的废气。

图 10.12 冷凝法处理有机废气流程

②作为燃烧与吸附净化的预处理,特别是有害物含量较高时,可通过冷凝回收的方法减轻后续净化装置的操作负担。

③处理含有大量水蒸气的高温废气。

表 10.40 冷凝净化法处理废气的优缺点

优点
①回收物质纯度高
②冷凝净化法所需设备和操作条件比较简单
缺点
对废气的净化程度受冷凝温度的限制,要求净化程度高或处理低浓度废气时,需要将废气冷却到很低的温度,经济上不合算

实例 10.5 对硝基氯苯废气治理

对硝基氯苯废气含对硝基氯苯蒸气及升华物、水蒸气和空气。对硝基氯苯熔点 83℃,沸点 242℃,闪点 127℃,易升华。根据这些特点,可以采用冷却凝固法,由于其在水中溶解度很小,便会呈固态在水中存在,可过滤回收,分离后的水冷却后循环使用。处理后废气中对硝基氯苯的浓度取决于废气冷凝湿度,极限值是冷凝温度下的平衡压。废气中的升华物和粉尘也能被捕集下来,废气中的水蒸气同时被冷凝。

根据对硝基氯苯的气-固平衡关系,不同温度下对硝基氯苯蒸气平衡压及浓度关系见表 10.41。

表 10.41　不同温度下硝基氯苯气-固平衡蒸气压及浓度关系

温度/ ℃	5	10	15	20	25	30	35
平衡分压/ Pa	0.273	0.516	0.953	1.722	3.653	5.31	9.07
浓度/ ($mg \cdot m^3$)	18.63	34.54	62.66	111.35	194.04	331.92	557.82

由表中数据可见,如果采用低温处理,废气排放可能达标。本体系采用大量水直接冷却,由于水蒸气分压的存在,处理后废气中对硝基氯苯的浓度要比相同温度下上述平衡浓度低。如果冷却温度较高,一级净化的废气还含有微量有害物质,可经二级净化处理。

表 10.42 是采用冷凝法回收气体污染物的实例。

表 10.42　冷凝法回收气体污染物应用

污染源	污染物	主要工艺参数
苯酚生产废气	异丙苯等	
己内酰胺	甲苯、正己烷等	
光气尾气	光气	深冷 - 60℃

第五节　电物理化学法
(Electric Physico-chemical Treatment)

随着工业的发展,有机废气的排放量迅速增加,其治理问题日益为人们所重视。有机废气种类多,往往组成复杂、浓度变化大,治理难度亦越来越大。目前国内外采用的处理方法中,催化燃烧法因其净化效率高,工艺简单,是应用最广的一种,但其能耗较高,尤其是处理低浓度废气时热回收量少能耗更大;同时对浓度变化的适应性差等亦限制了其应用。因而,工程实际使用率并不高。吸附法可回收溶剂,但缺点是吸附剂的容量有限而设备庞大,吸附剂再生及溶剂回收等后处理工程复杂。其他的治理方法如冷凝法、吸收法等应用范围有限。因此,尚需开发新的经济、高效的治理低浓度有机废气技术。

电物理方法处理大气污染物属于工业废气处理的前沿技术。本节介绍电子束法废气脱硫脱氮技术和脉冲电晕等离子体降解有机废气技术。

10.5.1 电子束法废气脱硫脱氮技术 (Desulfurization and Denitrification Technology by Electron Beam in Waste Gas)

工业废气中有时同时含有 SO_2 和 NO_2,例如燃料燃烧废气就具有这种特点。通常的脱硫或脱氮方法往往只能除去其中一种污染物。利用电子加速器发生的电子束照射法,是一种高效的、可以同时脱硫脱氮的废气处理新方法。

废气中的 N_2、O_2 和所含水分经高能电子束辐照后,由于电离、激发、分解等作用,可生成活性很强的离子、激发态分子—OH、—O、$—HO_2$ 等自由基,这些自由基与废气中 SO_2 和 NO_2 氧化反应并生成 H_2SO_4 和 HNO_3,这些雾状 H_2SO_4 与注入反应器中的 NH_3 等相互作用生成白色粉状的硫酸铵和硫氮铵。硫酸铵和硫氮铵可以作为化肥回收。

$$N_2, O_2, H_2O \xrightarrow{\text{电子束}} OH, O, H_2O$$

$$OH, O, H_2O \xrightarrow{SO_2} HSO_4, SO_3, HSO_3$$

$$HSO_4, SO_3, HSO_3 \xrightarrow{OH, H_2O} H_2SO_4$$

$$OH, O, H_2O \xrightarrow{NO} HNO_2, NO_2$$

$$HNO_2, NO_2 \xrightarrow{OH, O, H_2O} HNO_3$$

表 10.43 电子束法废气脱硫脱氮的特点

特点
①为干式处理法,不影响原系统的热效率,烟气可不必再加热即从烟囱排放
②添加氨时,生成物可作肥料使用
③脱除率高,达 90%～95%
④设备占地面积小,建造费与运行费比常规法低
⑤处理系统较简单,维修保养容易

1. 方法的评估

目前,在工业企业中已使用于燃煤、燃油锅炉的烟气脱硫技术,主要为以石灰石或石灰为吸收剂的石灰石法和石灰法。脱硫率在 90% 左右。

烟气中 NO_x 治理技术有碱吸收法、氨吸收法以及催化还原法。后者是在催化剂作用下,用甲烷、氢或其他还原气体把 NO_x 还原成氮。

上述工业烟气的脱硫脱氨技术,只能单一地脱除一种组分,不能像电子束辐照

那样同时脱硫脱氮。示范性试验结果表明,电子束辐照比其他方法都经济。表10.44列出了一个50万kW燃煤火力电厂,电子束处理烟气脱硫脱氨的费用和目前常规法(氨吸收法脱硝后,石灰石或石灰法湿式脱硫)所需费用的比较。

表10.44　电子束辐照与常规法的技术经济性比较

项目	电子束法	常规法
脱硫率	95%	90%
脱氮率	90%	80%～85%
设备占用空间	40%	100%
设备费	70%～80%	100%
运行费	90%	100%

2. 研究进展

电子束辐照处理烟气脱硫脱氨技术。从发明到现在已近20年。日、美、波兰等均已建立了中试设施,我国有关部门与日本合作,在成都热电厂建立了10瓦全内千瓦机组的烟气净化装置。目前,日、美、联邦德国等国科研人员正开展如下三方面的研究。

(1)基础性研究

主要是对SO_2和NO_2的除去率、处理湿度、辐照剂量的研究。寻找除去率高(95%左右)、处理温度高(100℃以上)、辐照剂量低的最佳方法。如用不同添加物(氨,石灰浆,碱性粉末等)测试去除率研究烟气中水分和尘埃含量、尘埃种类与粒度对除去率的影响;有的试验还在处理设备最后加入催化过滤物,以提高除去率。另外,还对电子束辐照法脱硫脱氮的机制(即辐射,电离,激发,化学反应特性)、生成物种类及最后生成物固化等问题,进行研究。

(2)设备系统的试验研究

关键是研制出低能、大功率、价廉、运行可靠的电子加速器。目前,正在研制300kev 1000～1500mA的电子加速器。大多选用造价低、流强大、束流展宽好的电子束加速器:束流窗用50μm左右厚的钛窗和不锈钢窗,寿命只有200～300h。用什么材料制造束流窗,既能长期经受烟道中烟气腐蚀,又能经受窗两边巨大压强差(至少1.00～0.01atm之差),也是当前研究问题之一。

(3)全套系统设备的建造成本与运行费用的评价试验。

10.5.2 脉冲电晕等离子体降解有机废气技术(The Pulse Corona Plasma Degrades Organic Waste Gas Technology)

有机物热力燃烧起燃的温度在 700℃以上,催化燃烧也需要 200℃以上高温,而在等离子体内催化降解有机物可在常温常压下进行。

其基本原理是通过前沿陡峭、脉宽窄(纳秒级)的高压脉冲放电,在常温常压下获得等离子体,其中的高能电子和 O×、OH×等活性粒子与有机物进行氧化、降解反应,能在常温常压下有效降解有机废气。

该技术利用了等离子体与催化反应的协同效应提高有机废气净化率、降低能耗,具有能耗低、投资少、操作方便等优点,为开发经济有效的有机废气治理方法,特别适用于处理低浓度、大流量有机废气。

实例 10.6 脉冲电晕等离子体降解有机废气

如苯、甲苯、丙酮、三氯乙烯和三氟三氯乙烷等,在气体流速 400mL/min,浓度为 100～2000mg/m^{3}条件下,降解率高达 95%上。

第六节 生物法
(Biological Treatment)

工业废气的生物净化是近年发展起来的处理废气中挥发性有机物(VOCs)和某些无机污染物的新方法,在有氧、中性或微碱性条件下,异养型微生物将有机污染物氧化分解,最终产物为 CO_2,有机氮先被转化为 NH_3,继而被转化成硝酸;硫化物先被转化为 H_2S,继而氧化成硫酸。该法利用微生物的代谢过程对有机物的降解作用、对无机物的转化作用去除废气中的污染物。

10.6.1 吸附-生物膜模型(Adsorption-biofilm Model)

吸附-生物膜模型是依据生物法净化有机废气的新理论提出的,根据该模型,生物法净化有机废气将要经历以下步骤:

①废气中挥发性有机污染物和空气中的 O_2等从气相本体扩散通过气膜到达润湿的生物膜表面。

②扩散到生物膜表面有机污染物和 O_2被吸附在润湿的生物膜表面。

③吸附在生物膜表面有机污染物和 O_2迅速被其中的微生物活菌体捕获。

④进入微生物菌体内的有机污染物在微生物的代谢过程中作为能源和营养物质被分解,最终转化为无害的简单化合物如 CO_2和 H_2O 等。

⑤生化产物 CO_2等从生物膜表面脱附并反扩散进入气相,而 H_2O 则被保持在生物膜内。

10.6.2　装置的主要类型(Type)

根据系统中液相运动状态和微生物在液相中的状态,目前开发和应用的生物法处理废气装置可分为生物滤池、生物滴滤塔和生物洗涤器三种类型。

1. 生物滤池

生物滤池是一种装有生物填料的滤池,经润湿后的废气由风机送入附有生物膜的填料层,净化后的气体排出。

生物滤床厚度一般约 1 m,面积则视处理量和处理效果要求确定。

填料一般采用堆肥、土壤、泥炭、活性炭等多孔、适宜微生物生长且具有较强保持水分能力的材料。

进气方式可采用升流式或降流式。

生物滤池的动力学模型可以表示为

$$C = C_0 \exp\left(-\frac{bK_m X}{V}\right)$$

式中: C_0为废气中污染物的浓度, mg/m^3; C 为贯穿距离为 X 时气相中污染物的浓度, mg/m^3; b 为生化一级反应速率常数, S^{-1}; X 为废气在滤池内的轴向贯穿距离, m; V 为废气轴向贯穿空隙速度, m/s; K_m为分配系数。

图 10.13　生物滤池流程

2. 生物滴滤塔

图 10.14 是生物滴滤塔装置流程图。废气先由风机抽入预处理装置,预处理包括废气中颗粒物的去除和废气温度调节。经预处理的废气进入生物滴滤塔,与

附着在填料表面的润湿的生物膜接触,在微生物的降解、吸附作用下,达到净化的目的。循环液逆流喷淋,承担补充蒸发损失的水分、添加微生物所需的营养物质、生物膜的维护、修补等。

物料流动可采用逆流、并流方式。

生物滴滤塔中 VOCs 降解的动力学模型可以表示如下:

$$C_2 = C_1 \exp\left(-\frac{f K_0 K_h W Z}{Q + L K_h}\right)$$

式中: C_1为进口废气中污染物的浓度, mg/m^3; C_2为出口废气中污染物的浓度, mg/m^3; f 为比例常数; L 为生物膜厚度, m; K_0为微生物总表面积与米-门常数的乘积; K_h为液/固相和气相有机质浓度分配系数; W 为滤塔润周长度, m; L、Q 为液体、废气流量, m^3/h; Z 为填料高度, m。

图 10.14 生物滴滤塔流程

3. 生物洗涤器

生物洗涤器实际上是一个悬浮活性污泥废气处理系统,主要组成为洗涤器和生物反应器,二者容积比约 1.5～2。废气进入洗涤器,与填料上的微生物及由生物反应器送过来的液相物混合,传质、吸附,部分有机物被降解,清洁气体排出,大部有机物继续进入生物反应器,通过悬浮活性污泥的代谢作用被降解,出水经二沉池泥水分离后排放,污泥回流。

4. 研究进展

(1)专属微生物的培养和应用

图 10.15　生物洗涤器流程

表 10.45　三种生物处理废气装置比较

	生物滤池	生物滴滤塔	生物洗涤器
液相状态	固定	循环流动	循环流动
生物相状态	固定	循环流动	循环流动
操作温度	15～40℃	15～40℃	
pH	7～8	7～8	
接触时间	30～100s	30～100s	
进气污染物浓度	3～5g/ m^3		
VOCs去除率	较高	较高	较高
压降	较高		低
堵塞	易堵塞	不易堵塞	不易堵塞
填料比表面积		较小	较小
投资	较低	较低	较高
运行成本	较低(2.5～12.5元/1000 m^3废气)	较高	较高
其他	废气应预处理去除颗粒物、润湿	废气应预处理去除颗粒物	

表 10.46 生物法处理工业废气实例

污染源	污染物	净化效率/ %	主要工艺参数
化工废气	甲苯	90	甲苯浓度 300～1400 mg/ m^3,气体流量 10～20 m^3/ h,喷淋量 300～500L/ h
化工废气	乙酸乙酯	99	进气乙酸乙酯负荷 320g/ (m^3·h),停留时间 1 min,填料中水含量 60 %,pH6.5,常温
肉类加工废气	氨、胺、硫醇、有机硫、硫化氢等	97	进气浓度 1500 mg/ m^3,停留时间 1～1.5 min

可使生物法处理废气的应用范围更加广泛,可以用于处理组分复杂的工业废气,提高难降解有机物的净化效果。

(2)提高对疏水性废气的处理能力

采用工艺的改进如双液相工艺增加不与水混溶的第二有机相,可使疏水性化合物的吸附量提高 100～1000 倍,从而提高处理效果;采用微孔膜或半透膜和反应器结合,亦可提高疏水性化合物的处理效果。

(3)填料改进

改进填料或过滤材料的物理性能和使用寿命,降低投资和能耗。

(4)改进过程控制

实现对各运行参数的自动控制,提高运行可靠性,降低维护费用。

表 10.47 生物法处理废气的优缺点

优点
①投资低、运行费用低
②设备简单、维护管理方便
③无二次污染
④更加适用低浓度、可生物降解的有毒空气污染物(HAPs)的处理
缺点
①生物滤池占地面积较大
②对环境温度较敏感

第七节 高空排放
(The High Attitude Discharging)

在一些情况下,当排放标准可以满足、环境容量又允许时,工业废气可以采用高烟囱排放,充分利用大气自然环境对污染物的扩散、稀释、分解作用,是一种经

济、有效的方法。

污染物排入大气层底部后，一方面随主导风向移动，另一方面随大气湍流运动向四周扩散，因此，污染源附近地区受大气污染的程度，除了决定于污染物的性质、浓度、排放方式、源程、源高等外，还受到风、逆温、扩散条件等气象状况的影响。

为了降低地面大气层的污染程度，根据近地边界层平均风速向高处逐渐增大的特点，可以对某些大气污染物采取高空排放。当排气筒高度超过逆温层顶时，便出现上扩散型，污染源附近的地面浓度将明显降低。

高空排放是一种消极的措施，但当回收、净化等积极措施受到一定限制(例如经济等原因)时，消极性措施亦是可以采用的。

根据 GB16297-1996《大气污染物综合排放标准》表 2 新污染源大气污染物排放限值，若干大气污染物随排气筒高度而变化的最高允许排放速率(二级)见表 10.48。

表 10.48　大气污染物随排气筒高度而变化的最高允许排放速率/(kg/h)

	排气筒高度/m									
	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
二氧化硫	2.6	4.3	15	25	39	55	77	110	130	170
氮氧化物	0.77	1.3	4.4	7.5	12	16	23	31	40	52
氯化氢	0.26	0.43	1.4	2.6	3.8	5.4	7.7	10		
硫酸雾	1.5	2.6	8.8	15	23	33	46	63		
氟化物	0.10	0.17	0.59	1.0	1.5	2.2	3.1	4.2		
氯气		0.52 (25m)	0.87	2.9	5.0	7.7	11	15		
铅及其化合物	0.004	0.006	0.027	0.047	0.072	0.10	0.15	0.20	0.26	0.33
汞及其化合物	0.0015	0.0026	0.0078	0.015	0.023	0.033				
苯	0.50	0.90	2.9	5.6						
酚类	0.10	0.17	0.58	1.0	1.5	2.2				
甲醛	0.26	0.43	1.4	2.6	3.8	5.4				
丙烯腈	0.77	1.3	4.4	7.5	12	16				
氰化氢		0.15 (25m)	0.26	0.88	1.5	2.3	3.3	4.6		
甲醇	5.1	8.6	29	50	77	100				
苯胺类	0.52	0.87	2.9	5.0	7.7	11				
氯苯类	0.52	0.87	2.5	4.3	6.6	9.3	13	18	23	29
硝基苯类	0.05	0.09	0.29	0.50	0.77	1.1				
氯乙烯	0.77	1.3	4.4	7.5	12	16				
光气		0.10 (25m)	0.17	0.59	1.0					
非甲烷总烃	10	17	53	100						

采用高空排放时,废气中应当不含有毒有害的污染物成分或难以在自然大气环境下分解的污染物成分等。

第八节 颗粒状污染物净化
(Purification for Particulate Pollutant)

颗粒状污染物又被称为粉尘,工业上产生粉尘的设备、装置或场所被称为尘源,在尘源处或其近旁设置吸尘罩,以风机作动力,将生产过程中产生的粉尘连带运载粉尘的气体吸入罩内,经风管送至除尘器气固分离,达到一定的排放标准后再经风管排入大气,就构成了一套除尘系统。由此可见,一套完整的除尘系统由吸尘罩(或直接接于产尘设备)、风管(包括调节,控制阀门)、除尘器、风机、过程控制装置等部分组成。

除尘系统的型式应根据工艺设备、产生流程和厂房结构的条件确定,一般可分为单机式和集中式两种型式。单机式将除尘器和风机安装在产尘设备附近,有的就直接设置在产尘设备上,就地捕集和回收粉尘,净化后气体排入车间,对于余压高的设备甚至可省却除尘器。这种系统多用于机械加工车间、粉体混合设备、粉体料仓等。集中式除尘器系统是将多个产尘点或整个车间的产尘点全部集中为一个系统,由专人负责管理。这种系统的处理风量大、自动化程度高、便于粉尘后处理,但管线长,阻力不易平衡,适合于尘源较集中的大型车间。

10.8.1 除尘器类别与性能(Type and Performance of Dust Separator)

除尘器是一种气固分离设备,按除尘器作用原理可分为重力除尘器、惯性除尘器、旋风除尘器、过滤式除尘器、电除尘器等;按是否对含尘气体或分离的尘粒进行润湿,除尘器可分为干式除尘器和湿式除尘器。

1. 沉降室

沉降室是一种使含尘气体中的粉尘借重力作用自然沉降来达到净化气体的目的的装置。沉降室结构简单、阻力小,但体积大、除尘效率低,通常设置在除尘系统前级分离较大粒径的粉尘。

2. 惯性除尘器

惯性除尘器是利用粉尘在运动中惯性力大于气体惯性力的作用,将粉尘从含尘气体中分离的设备。结构简单、阻力较小,但除尘效率较低,适用作前级分离设备。

3. 旋风除尘器

旋风除尘器利用其结构使含尘气体高速旋转产生离心力,将粉尘从气流中分

离出。旋风除尘器是一种应用非常广泛的气固分离设备,用于工业领域已有一百多年历史。旋风除尘器结构简单、占地面积小、价格低、操作维护简单、操作弹性大、不受含尘气体的浓度与温度限制、可用不同材料或内衬不同材料提高其防腐耐磨性,旋风除尘器阻力压降中等,但运转维护费用较低。旋风除尘器有多种改进形式,高效旋风除尘器对粒径 5μm 以上的粉尘有很高的分离效率。

4. 湿式除尘器

湿式除尘器利用水或其他液体与含尘气体相接触、产生的惯性碰撞及其他作用分离气体和固体的设备。湿式除尘器投资较低、结构简单,操作和维修方便,占地面积小,可同时进行有害气体的净化、烟气冷却和增湿等操作,因此适合处理高温、高湿、有爆炸危险、能受冷且与水不发生化学反应的气体、含非纤维性粉尘的气体,但不适用于黏性粉尘。湿式除尘器的另一问题是产生的污水和污泥要进行必要的处理。

5. 电除尘器

电除尘器是使含尘气体在通过高压电场时发生电离,使尘粒带电,在电场的作用下沉积于电极而从气体中分离的一种除尘设备。1906 年,F. G. Cottrell 第一次将电除尘器用于工业生产,数十年来,电除尘器得到了飞速发展,广泛应用于电厂、锅炉、水泥厂、钢铁厂和一些特殊粉尘的除尘净化方面。电除尘器中,产生电晕的电极称为电晕极,吸附粉尘的电极成为集尘极。电除尘器除尘效率高,几乎不受粉尘粒径的影响,处理风量大、阻力低、能处理高温烟气。但电除尘器一次投资较大,钢材消耗大,对粉尘的比电阻适宜范围是 $10^4 \sim 5\times10^{10}\Omega\cdot CM$,占地面积大,结构复杂,制造和安装要求高。电除尘器由供电装置和本体两部分组成,供电装置包括升压变压器、整流器和控制系统;本体包括电晕极、集尘极、清灰装置、气流分布装置等。

6. 袋式除尘器

袋式除尘器是一种典型的过滤式除尘器,依靠编织或毡织的滤料作为过滤材料来分离含尘气体中的粉尘。袋式除尘器在 18 世纪 80 年代起开始应用于工业领域,正压操作,人工清灰;1890 年后普遍采用机械振打清灰;1950 年开始出现气环反吹式袋式除尘器,实现连续操作,处理气量成倍提高;1957 年出现的脉冲袋式除尘器是清灰技术的一项革命性突破,不但操作和清灰可连续进行,滤袋压力损失稳定,处理气量大,而且内部无运动部件,滤袋寿命长结构简单,得到了广泛的使用。

袋式除尘器的除尘机理是当粉尘通过滤料时产生筛分、惯性、黏附、扩散和静电作用而被捕集。含尘气体通过滤料时,滤料纤维间的空隙和吸附在滤料表面上的粉尘之间的空隙把大于空隙直径的粉尘分离下来,称为筛分作用。新滤料纤维

间的空隙很大,筛分作用不明显,除尘效率较低,使用一定时间后,滤料表面形成了一定厚度的粉尘层,筛分作用大大增强,除尘效率大幅度提高,清灰后,滤料表面及内部还残留一定量的粉尘,仍可保持较好的筛分作用和较高的除尘效率。含尘气体通过滤料纤维时,气流绕过纤维,而直径 1μm 以上的粉尘由于惯性而保持直线运动撞击到纤维上而被捕集,粉尘粒径越大,过滤气速越高,惯性作用越明显;但气速过高,含尘气流会从滤料薄弱处穿破造成除尘效率下降。扩散作用是当粉尘粒径极为细小(0.2μm 以下)时产生如气体的热运动的布朗运动,增加了粉尘与滤料表面的接触机会而被捕集,扩散作用与惯性作用相反,过滤速度越低、粉尘粒径越小而越强。

黏附作用是当细小的粉尘随气流接近滤料时,若粉尘的半径大于粉尘中心到滤料边缘的距离时,粉尘被滤料黏附而被捕集,滤料的纤维空隙越小,黏附作用越明显。粉尘颗粒运动时会应互相撞击而产生静电,若滤料为绝缘体,则会使滤料带电,当粉尘与滤料所带电荷相反时,粉尘就会被吸附在滤料上,提高了除尘效率,但这种机理不利于清灰;反之,粉尘与滤料间可因电荷相同而互相排斥降低除尘效率,为了保证除尘效率,应根据粉尘性质选择滤料。通常静电作用在粉尘粒径小于 1μm 且过滤气速很低时才显现出。

表 10.49 滤袋材料特性

滤料名称	耐温性/ ℃		吸湿率/ %	耐酸性	耐碱性	比强度
	长期	最高				
棉织品	75～85	95	8	差	稍好	1
羊毛	80～90	100	10～15	稍好	差	0.4
蚕丝	80～90	100	16～18	好	好	
麻	80					1～2
尼龙	75～85	95	4～4.5	稍好	好	2.5
奥纶	125～135	140～150	6	好	差	1.6
涤纶	140	160	6.5	好	差	1.6
维尼龙	40～50	65	5	好	好	1.5
玻璃纤维(有机硅处理)	250		0	好	差	1
酰胺	220	260	4.5～5	差	好	2.5
聚四氟乙烯	220～250		0	很好	很好	2.5

根据所用袋的形状,可分为圆袋和扁袋;根据反吹方式,可分为压缩空气反吹和高压风机大气反吹等。

袋式除尘器的规格见表 10.50。

表 10.50　回转脉动反吹袋式除尘器性能表

型号	过滤面积/ m^2	过滤风速/ ($m \cdot min^{-1}$)	处理风量/ ($m^3 \cdot h^{-1}$)	设备阻力/ Pa	反吹风机					回转电机功率/ kW	总量/ kg
					型号	风量/ ($m^3 \cdot h^{-1}$)	风压/ Pa	转速/ (r/ min)	功率/ kW		
LHMF-50 A	50	1～1.5	3390～5085	800～1200	9-19 No-4	1150	3750	2900	3	1.5	4500
LHMF-50 B		2～2.5	6780～8475	1100～1500							
LHMF-70 A	70	1～1.5	4500～6750	800～1200	9-19 No-4	1150	3750	2900	3	1.5	4890
LHMF-70 B		2～2.5	9000～11250	1100～1500							
LHMF-120 A	120	1～1.5	7440～11160	800～1200	9-19 No-4	1740	5830	2900	5.5	1.5	6520
LHMF-120 B		2～2.5	14880～18600	1100～1500							
LHMF-160 A	160	1～1.5	9800～14850	800～1200	9-19 No-4	1740	5830	2900	5.5	1.5	7160
LHMF-160 B		2～2.5	19800～24750	1100～1500							
LHMF-240 A	240	1～1.5	14460～21690	800～1200	9-19 No-4	1740	5830	2900	5.5	2.2	9940
LHMF-240 B		2～2.5	28920～36150	1100～1500							
LHMF-320 A	320	1～1.5	19260～28890	800～1200	9-19 No-4	1740	5830	2900	5.5	2.2	10420
LHMF-320 B		2～2.5	38520～48150	1100～1500							
LHMF-400 A	400	1～1.5	23760～35640	800～1200	9-19 No-4	1740	5830	2900	5.5	2.2	14600
LHMF-400 B		2～2.5	47520～59400	1100～1500							
LHMF-530 A	530	1～1.5	31680～47520	800～1200	9-19 No-4	1740	5830	2900	5.5	2.2	16270
LHMF-530 B		2～2.5	63060～79200	1100～1500							

表 10.51　袋式除尘器的过滤风速选择

粉尘种类	推荐过滤风速/ ($m \cdot min^{-1}$)		
	振打清灰	脉冲喷吹	反吹风(缩袋型)
炭黑	0.46～0.6	1.5～1.8	0.34～0.45
煤	0.76～0.9	2.4～3.0	
黏土	0.76～0.98	2.7～3.0	0.46～0.6
水泥	0.6～0.9	2.4～3.0	0.37～0.46
氧化铅	0.6～0.76	1.8～2.44	0.46～0.55
氧化钙	0.76～0.9	3.0～3.66	0.49～0.6
沙子	0.76～0.9	3.0～3.66	
滑石	2.5～3.0	10～12	
氧化锌	0.6～0.76	1.5～1.83	0.46～0.55

7. 微孔除尘器

微孔除尘器属于过滤式除尘器的一种,以各种多孔性材料如微孔高分子材料、微孔金属材料、微孔陶瓷材料等作为过滤介质,其除尘机理类似与袋式除尘器。

由于多孔材料的孔径范围、开孔率、孔的形状等参数可由人工精确控制,因此

微孔除尘器对各种粒径分布的粉尘均有很高的除尘效率,最高除尘效率可达99.99%以上;微孔材料的外表面光滑,孔径一致性好,对纤维状粉尘和湿含量较高的粉尘仍有很高的清灰率;微孔高分子材料、微孔钛材、微孔不锈钢材料、微孔陶瓷材料等耐腐蚀性好,可用于各种腐蚀性气体的除尘;微孔金属材料、微孔陶瓷材料耐高温,可用于高温烟气的除尘;微孔除尘器的清灰方式与袋式除尘器类似,有压缩空气反吹和高压风机大气反吹两大类。

表 10.52 金属纤维烧结过滤介质主要性能

项目	单位	数值
流量	m^3/ min	5～550
过滤精度	μm	0.1～100
压力	MPa	0.2～7.0
压力损失	MPa	0.0007～0.7
黏度	CP	0.01～0.1
孔隙率	%	65～87
纳污量	mg/ cm^2	6.4～33.97
平均透气度	L/ (dm·min)	9～1000

表 10.53 烧结陶瓷过滤介质主要性能

	孔隙率 / %	透气度 / [L·(m^2·h·Pa)$^{-1}$]	抗压强度 / MPa	耐酸碱性 / %	压力损失/ MPa	耐温/ ℃
刚玉	28～50	0.02～20	20～100	>98	0.8	800
石英	30～60	0.05～20	10～40	>95	0.4	200

表 10.54 除尘器性能比较

除尘器名称	适用的粒径范围 / μm	除尘效率 / %	阻力压降 / Pa	设备费	运行费
重力沉降室	≥50、非纤维性	<50	50～130	低	低
惯性除尘器	20～50、非纤维性	50～70	300～800	低	低
旋风除尘器	5～15、非纤维性	60～90	800～1500	低	中低
水浴除尘器	1～10	80～95	600～1200	低	中
旋风水膜除尘器	≥5	95～98	800～1200	中	中
自激湿式除尘器	≥5	95	1000～1600	中	中上
电除尘器	0.5～1	90～98	50～130	高	中上
袋式除尘器	0.5～1、非纤维性	95～99	1000～1500	中上	高
微孔除尘器	0.5～1	95～99	1200～2000	高	中上
文丘里除尘器	0.5～1	90～98	4000～10000	低	高

表 10.55　各种除尘器对不同粒径粉尘的除尘效率

除尘器名称	除尘效率/ %		
	50μm	5μm	1μm
惯性除尘器	95	26	3
中效旋风除尘器	94	27	8
高效旋风除尘器	96	73	27
水浴除尘器	98	85	38
自激湿式除尘器	100	93	40
空心喷淋塔	99	94	55
干式电除尘器	> 99	99	86
湿式电除尘器	> 99	98	92
中阻文丘里除尘器	100	> 99	97
高阻文丘里除尘器	100	> 99	99
机械振打袋式除尘器	> 99	> 99	99
喷吹袋式除尘器	100	> 99	99

10.8.2　除尘器的技术经济指标(Technico-economical Index)

除尘器的技术经济指标有除尘效率、阻力、处理风量、耗钢材量、一次投资、运行费用、占地面积等,其中最主要的是除尘效率和阻力。

(1) 除尘效率

指含尘气体在通过除尘器时捕集下的粉尘量占进入除尘器的粉尘量的百分数

$$\eta = \frac{G'}{G_1} \times 100\%$$

式中: G_1 为进入除尘器的粉尘量, mg/ h; G' 为被除尘器捕集的粉尘量, mg/ h。

上式可改写为

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_2 C_2}{Q_1 C_1}\right) \times 100\%$$

式中: Q_1 为除尘器进口风量, m^3/ h; Q_2 为除尘器出口风量, m^3/ h; C_1 为除尘器进口气体粉尘浓度, mg/ m^3; C_2 为除尘器出口气体粉尘浓度, mg/ m^3。

(2)除尘器分级效率

$$\eta_d = \eta \frac{M_d'}{M_{d1}}$$

或

$$\eta_d = \frac{M_{d1} C_1 - M_{d2} C_2}{M_{d1} C_1} \times 100\%$$

式中：η_d为除尘器对粒径为 d 的粉尘的除尘效率，%；M_d'为被除尘器捕集的粉尘中，粒径为 d 的粉尘的质量分数；M_{d1}为除尘器进口粒径为 d 的粉尘质量分数；M_{d2}为除尘器出口粒径为 d 的粉尘质量分数；C_1为除尘器进口粒径为 d 的粉尘浓度，mg/m³；C_2为除尘器出口粒径为 d 的粉尘浓度，mg/m³。

以分级效率表示的除尘效率如下

$$\eta = \sum M_{di}\eta_{di} \times 100\%$$

(3)多级除尘的总效率

当进口粉尘浓度很高或排放标准要求很严格时，一级除尘往往达不到净化要求，就必须采用多级除尘，即在除尘系统中将两台或多台不同类型的除尘器串联使用，此时，系统的总除尘效率可以表示如下

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2)\cdots(1 - \eta_n)$$

(4)透过率 P

透过率指未被捕集的粉尘量占进入除尘器的粉尘量的百分数。对于高效除尘器而言，透过率是比除尘效率更能明确说明其性能的一个指标。

$$P = (1 - \eta) \times 100\%$$

(5)阻力

含尘气体经过除尘器后的阻力压降称为除尘器阻力。除尘器阻力(Pa)通常以除尘器进口动压的倍数来表示：

$$H = \xi \frac{\rho u^2}{2}$$

式中：ξ为阻力系数，通常通过实验确定；ρ为气体密度，kg/m³；u 为除尘器进口风速，m/s。

10.8.3 除尘系统设计(Dust Collection System)

设计除尘系统可分为以下几个步骤：

①了解工艺过程，摸清尘源及其散发状况，采样并分析粉尘性质。

②确定产尘设备的密闭方法、抽风部位及吸尘罩的形式、数量。

③参照设计手册或根据有关测定数据确定吸尘罩的排风量，计算系统总风量。选择除尘器的型式和数量，确定除尘器及风机的布置位置。

④划分除尘系统，确定管道布置方案，绘制除尘系统图，确定系统中各种构件的安装部位和结构要求。

⑤除尘管网计算。

⑥根据系统的总排风量和阻力、粉尘的性质、风机的布置位置等,选择通风机。

10.8.4　吸尘罩设计(Dust Exhaust Hood Design)

1. 吸尘罩分类及工作原理

吸尘罩是除尘系统中的一个重要部件,其作用是将尘源散发的粉尘予以捕集,不使其扩散到环境中。

除尘系统的风量取决于吸尘罩的吸风量。设计合理的吸尘罩,用较小的吸风量就能获得较好的防尘效果,从而可以减少整个系统的风量,降低投资和运行费用。

吸尘罩的种类很多,按原理可分为四种基本类型:密闭罩、外部罩、接受罩和吹吸罩。密闭罩是将尘源包围在罩内,并尽可能地密封起来,使粉尘的扩散被限制在一个较小的空间里。当受到生产设备或工艺条件限制,不能将尘源全部或局部密闭时,常将吸尘罩设在尘源近旁,依靠罩内吸气气流的运动把从尘源散发出的粉尘吸入罩内,这类吸尘罩统称外部罩。有些生产过程或设备本身会产生或诱导一定的气流,对此常将吸尘罩设置在含尘气流的上方或前方,罩口迎着含尘气流的运动方向,让该气流直接进入罩内,这种吸尘罩称为接受罩,接受罩罩口外气流的运动是生产过程产生的。吹吸罩由吹风口和排风罩组成,吹风口吹出的射流将尘源散发出的含尘气体吹向排风罩,在吸风口前汇流的作用下被吸入罩内,吹吸罩具有风量小、控制效果好、抗干扰能力强、不妨碍操作的优点。

2. 密闭罩设计

密闭罩设计时,在不影响设备运行的条件下尽量严密,尽可能减少缝隙和孔洞面积;设置必要的操作、检修、观察、清扫用的快开式门,避免与有振动和往复运动的机件相接触;抽气口与风管尽量软连接;对拆卸、维护较频繁的密闭罩,采用装配式结构。为了抵消罩内空气由于物料溅落、设备运转等造成扰动气流产生的正压,密闭罩内必须由风机形成一定的负压,在各种工艺设备上配置的密闭罩所须保持的最小负压值见表 10.56。

由密闭罩排出的风量应等于进入罩内的风量:

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 - q_6$$

式中:q 为密闭罩排风量,m^3/h;q_1 为物料进入密闭罩时所诱导的空气量,m^3/h;q_2 为通过密闭罩孔口或缝隙吸入的空气量,m^3/h;q_3 为由于设备运转带入密闭罩的空气量,m^3/h;q_4 为因物料和机械加工散热而使空气膨胀或水分蒸发增加的空气量,m^3/h;q_5 为被压实的物料容积排挤出的空气量,m^3/h;q_6 为从设备排出的物料所带走的空气量,m^3/h。

表 10.56 各种工艺设备所必须保持的最小负压值

工艺设备	最小负压值/ Pa	工艺设备	最小负压值/ Pa
混碾机	1.5～2.0	摆式加料器	1.0
破碎机	0.8～1.0	储料槽	10～15
球磨机	2.0	皮带机	2.0
双轴搅拌机	1.0	提升机	2.0
机械筛	1.0～2.0	螺旋输送机	1.0
盘式加料器	0.8～1.0	锤式破碎机	20～30

大多数情况下，q_3、q_4、q_5 和 q_6 都较小，可忽略不计，而影响 q_1 的因素很多，要想精确计算 q_x 很困难，因此采取加大 q_x 的方法处理，即密闭罩的排风量转计算为

$$q = 3600\ A_0\ V_0$$

式中：A_0为密闭罩上所有孔口或缝隙的总面积，m^2；V_0为孔口或缝隙处空气的吸入速度，m/ s，一般取 0.75～1.5 m/ s。

3. 外部罩设计

外部罩根据尘源和工艺过程，可设计成在尘源上部、下部或侧面，分别称为上吸罩、下吸罩或侧吸罩。安装时，应尽可能避免或减弱横向气流的影响；在不影响操作的前提下，吸尘罩应尽量接近尘源安装；扬尘区较宽时，应设置双侧罩。

外部罩排风量的计算。通过对尘源和操作情况的分析。确定罩型、罩口尺寸、尘源控制点至罩口的距离 x，根据罩型选用适当的排风量经验公式计算排风量。控制风速 V_x 可实测或根据表 10.57 确定。

表 10.57 罩口控制风速选择表

粉尘散发条件	示例	最小控制风速/ ($m \cdot s^{-1}$)
以极小的速度进入静止的空气中		0.25～0.5
低速进入较稳定的空气流中	皮带机、间断粉料装袋、装卸、焊接	0.5～1.0
高速进入极不稳定的空气流中	砂轮机、喷沙	2.5～10

4. 系统总风量 Q

$$Q = k\ \Sigma q_i$$

式中：Q 为系统所需总风量；q_i 为第 i 个吸尘罩所需风量；k 为系数，包含了系统漏风量等，通常可取 k = 1.15～1.2。

10.8.5　除尘器选型(Type Selection for Dust Collector)

根据粉尘性质、粉尘浓度、气流温度、腐蚀性、要求的排放标准、造价限度、运行费用限度等,首先确定除尘器的类型。

对于除尘器的除尘效率,必须以分级效率考察。

除尘器类型确定后,根据系统设计风量。

10.8.6　除尘系统布置(System Selective Locale)

除尘系统布置应当注意以下问题:

①系统的吸尘点不宜过多,一般不应超过 6 个,以利于个支管间的压力平衡。

②系统的布置应力求风管顺直,风机进出口处应有相当于 5 倍管径的长度的直管段,风机出口处不应接成 S 形弯头,以减少涡流的产生。

③风管的布置应力求简单,少占用空间;风管和吸尘罩的布置不应妨碍生产操作,便于安装维护。

④风机应隔离布置,以减少噪声对操作人员和环境的危害。

⑤除尘系统中含有可燃气体或可燃粉尘时,设计时避免可燃物在系统中局部积累。不允许在管道上设置端头和袋状管,排气口不允许采用伞形罩或其他能使可燃气体聚集的装置。

⑥根据监测要求,在风管的适当部位预留快开式监测采样口。

图 10.16　典型除尘系统图

10.8.7 管道计算(Pipeline Calculating)

气体管道是除尘系统不可缺少的一部分,也是除尘系统设计中最复杂的一部分。需要净化的气体沿着气体管道进入除尘器,净化后的气体经气体管道排出。因此,气体管道的设计对除尘系统的能量消耗、工作能力和除尘效率有重大的影响。

管道计算的内容包括管道内气速、管径计算、管道材料的选择、管壁厚度、管道内气速、管道的倾角、管道的压力损失、各支管的阻力平衡等,现分述如下。

(1)管道内气速的确定

管道内的气速应合理地确定。气速太小,气体中的粉尘易沉积,严重的会破坏除尘系统的正常运转。气速太大,压力损失会成平方增长,粉尘对管壁的磨损加剧,使管道的使用寿命缩短。

垂直管道内的气速,应大于抽气口的气速。水平和倾斜管道内的气速应大于最大尘粒的悬浮速度。在工业生产中,进气口处各截面的气速是不等的,气体在管道内分布也是不均匀的,并且存在着涡流现象,同时,还应能够吹走风机前次停时沉积于管道内的粉尘。因此,一般实际采用的气速比理论计算的气速大 2～4 倍。除尘管道内的气速可参考表 10.58。

表 10.58 除尘系统管道内气流最低速度(m/s)

粉尘性质	垂直管	水平管	粉尘性质	垂直管	水平管
粉尘黏土、沙	11	13	干细粉	11	13
耐火泥	14	17	煤粉尘	10	12
黏土	13	16	湿土(20%以下)	15	18
重矿粉尘	16～18	18～23	铁、钢尘末	15	18
轻矿粉尘	12	14	水泥粉尘	8～12	18～22
铁、钢(屑)	19	23	石棉粉尘	8～12	16～18
灰土、沙尘	16	18	锯屑、刨屑	12	14
干微尘	8	10	大块湿木屑	18	20
染料粉尘	14～16	16～18	大块干木屑	14	15
沙子、铸模用干土	17	20			

除尘器后的排气管道内气速一般取 8～12 m/s。

大型除尘系统采用砖或混凝土制管道时,管道内的气速常采用 6～8 m/s,垂直管道如烟囱出口气速取 10～20 m/s。

含尘气体在管道内的速度也可采用下述的经验计算方法求得。

在垂直管道内,气速应大于管道内粉尘粒子的悬浮速度 V_x,考虑到管道内的气流速度分布的不均匀性和能够带走贴近管壁的尘粒,管道内的气速 V_g应为尘粒悬浮速度的 1.3～1.7 倍。

对于管路比较复杂和管壁粗糙度较大的取上限,反之取下限。

倾斜管道内的气速,介于垂直管道和水平管道之间,倾斜角大者取小值,倾斜角小者取大值。

(2)管径计算

管道内风速确定后,再根据已知的风量即可算出风管管径(内径),但通常除尘系统管径不宜小于表 10.59 所示规格。

表 10.59　除尘系统最小管径

粉尘种类	最小直径/mm
细粒粉尘	Φ80
较粗粒粉尘	Φ100
可能含有大块物料的混合物粉尘	Φ200

(3)管道材料的选择

根据输送介质的特性,一般风管可采用热轧无缝钢管、卷制钢管、玻璃钢管、工程塑料管等。

(4)管壁厚度的确定

一般风管壁厚可采用"全国通用通风管道计算表"推荐的数值。

(5)管道倾角

含尘气体管道的倾角决定于粉尘的物理性质和气体中的含尘浓度。

从粉尘的物理性质而言,应使管道的倾角大于粉尘的静止堆积角,以防淤积阻塞管道。粉尘静止堆积角的大小与粉尘性质、尘粒直径、形状和湿度等因素有关,一般不小于 45°,最好不小于 60°。

从气体中的含尘浓度而言,若含尘浓度小于 0.3g/m^3,而且粉尘是干燥的、粒径是大的、不黏附于管壁时,则管道的形式可从流体压力损失最小和设备投资最少的条件进行选择。若含尘浓度为 0.3～15g/m^3,含尘气体在管道内的最大速度不应超过 16～18m/s,以防止管道应有平直的部分,只能倾斜地设置。

管道分支管和倾斜主干管连接时,应从上面或侧面接入。三通管道的夹角一般不宜小于 30°,最大不宜超过 45°。

但实际工程中,常由于各种原因不能采取较大的管道倾角,有时甚至只能采用平直管道,这时就必须采取加大管道内风速、在管道内设置压缩空气吹扫装置等措施,避免运行后出现粉尘堵塞现象。

(6)管道压力损失

含尘气体在管道中流动时,会发生含尘气体和管壁摩擦而引起的摩擦压力损失,及含尘气体在经过各种管道附件或遇到某种障碍而引起的局部压力损失。

①摩擦压力损失。根据流体力学原理,圆形风管的摩擦压力损失可计算为

$$\Delta P_1 = \frac{\lambda}{d} \frac{\rho v^2}{2} L$$

式中:ΔP_1 为摩擦压力损失,Pa;λ为摩擦阻力系数;ρ为空气密度,kg/ m^3;v 为风管内风速,m/ s; L 为风管长度,m。

②除尘风管计算表。摩擦压力损失可以利用除尘风管计算表进行计算。

应用计算表时,根据选定的风管外径 d(mm)、风量(m^3/ h)、(λ/ d)等查得相应的动压、风速。

管壁摩擦系数λ可按表 10.60 查得。

表 10.60 管壁摩擦系数表(Re 在 10^4～10^6 范围内)

管道性质	λ	管道性质	λ
玻璃、黄铜、铜制新管	0.025～0.04	橡皮软管	0.01～0.03
新钢管(焊接)	0.09～0.1	松木或桦木胶合板卷管	0.06～0.08
使用一年后的钢管	0.02～0.08	木管	0.09～0.1
镀锌钢管	0.12	用水泥胶沙涂抹的管道	0.05～0.1
薄钢板管和很光滑的水泥管	0.1～0.2	水泥胶沙砌砖的管道	0.045～0.2
污秽钢管	0.75～0.9	混凝土涵道	0.045～0.2

③局部压力损失。局部压力损失在管件形状和流动状态不变时,正比于动压。可计算为

$$\Delta P_2 = \zeta \frac{\rho v^2}{2}$$

局部阻力系数ξ一般用实验的方法确定。用实验方法确定的局部阻力系数,一般表示异形管件总的压力损失,它包括异形管件本身的摩擦压力损失和因涡流引起的压力损失,因摩擦作用很小,在计算中可以忽略不计。局部阻力系数可查有关手册。

④管道的总压力损失。除尘系统管道的总压力损失是直管的摩擦压力损失和管道中局部压力损失之和。除尘系统的总压力损失是管道压力损失和各设备压力损失之和。

⑤风管计算 CAD 软件。风管的计算可以采用专用 CAD 软件进行。计算过程包括:确定基本参数、输入设计参数、计算,得到结果等。

⑥确定基本参数。需要确定的基本参数包括管壁粗糙度 K、流量单位、气体

参数等。

根据《全国通用通风管道计算表》,以 K = 0.15mm 给出。当实际使用的风管的 K 值与之差别较大时,按表 10.61 选择管壁粗糙度修正系数 ε。

表 10.61　管壁粗糙度修正系数 ε

K / v	2	4～6	8～12	14～22	24～30
0～0.01	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75
0.10	1.00	0.95	0.95	0.95	0.95
0.20	1.00	1.05	1.05	1.05	1.05

流量单位为 m^3/s 或 m^3/h;风管截面形状为圆形或矩形;气体参数按压力 = 1.013×10^5 Pa、温度 20℃的偏离标准状态给出,若偏离太多,按"修正"键,输入实际空气参数:大气压、温度和相对湿度。

⑦输入设计参数。风量 Q、管径 D、管长 L。

⑧计算,得到结果。按相应的计算键,得到流速 v/(m/s)、管道比阻 R/(Pa/m)和管道阻力 ΔP/Pa,同时可输出计算书,选择存档目录,起名,将计算结果以文档文件形式储存。

10.8.8　风机的选型(Draught Fan Selection)

风机选型内容包括、风机类型选择、风机风压计算、风机风量计算等。

1. 类型选择

应当根据被输送含尘气体的性质(如粉尘浓度,硬度,湿度,易燃易爆性等)和用途(如一般除尘系统,高温气体除尘,锅炉引风等)选用不同类型(普通风机,排尘风机,耐腐蚀风机,防爆风机,工业炉风机等)。

2. 风压计算

风机的风压应用能克服系统总阻力,同时考虑工程裕量 15%～20%。

$$H'd = 1.15 - 1.2\ \Delta P$$

式中:H'd 为风机选型风压,Pa;ΔP 为系统总阻力,Pa。

3. 风量计算

考虑到风机实际工况、风机可能的漏风量等,风机选型风量的工程裕量一般取 10%～15%。

$$Q' = 1.1 - 1.15\ Q$$

式中：Q′为风机选型风量，m^3/h；Q 为系统所需总风量，m^3/h。

4. 参数转换

风机样本上的参数是在“标准状态”(大气压力为 1.013×105Pa，温度为 20℃，相对湿度为 50%)下给出的，若风机工况与“标准状态”相差较大，在风机选型时应对参数(风压和功率)进行转换

$$H' = H_b \frac{\rho}{\rho_b} = H_b \frac{P}{P_b} \frac{273 + t_b}{273 + t}$$

$$N' = N_b \frac{\rho}{\rho_b} = N_b \frac{P}{P_b} \frac{273 + t_b}{273 + t}$$

式中：H′、N′、ρ、P、t 为风机在使用工况下的风压、功率、空气、密度、压力和温度；H_b、N_b、ρ_b、P_b、t_b 为风机在标准状态(或规定状态)下的风压、功率、空气、密度、压力和温度，即产品样本所列参数。

参考文献

蔡蕙兰等.1992.缙云沸石的开发应用.北京:地质出版社

化工部环境保护设计技术中心站.1998.化工环境保护设计手册.北京:化学工业出版社

化工设备设计全书编辑委员会.1983.除尘设备设计.上海:上海科学技术出版社

孙佩石等.2002.生物法净化再生胶生产废气工业试验研究.环境污染与防治,24(1):8～12

孙石等.2002.生物法净化挥发性有机废气的吸附-生物膜理论模型与模拟研究.环境科学,23(3):14～17

孙玉梅等.2002.生物过滤法去除废气中乙酸乙酯及填料性质研究.大连理工大学学报,42(1):51～55

苑宏英等.2002.生物膜法降解甲苯废气过程的探讨.城市环境与城市动态,15(1):44～46

王家德等.1998.有机废气的生物处理概述.上海环境科学,17(4):21～24

汪印等.2001.有机废气的生物处理进展.吉林化工学院学报,18(2):73～76

叶振华.1992.化工吸附分离过程.北京:中国石化出版社

第十一章　固体废弃物处理与资源化

第一节　固体废弃物的定义、产生及分类
(Definition, Generation and Category of Solid Wastes)

11.1.1　固体废弃物的定义(Definition of Solid Wastes)

固体废弃物(solid wastes)指在社会的生产、流通、消费等一系列的活动中产生的,一般不再具有原使用价值而被丢弃的固体、半固体物质的总称。

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》将固体废弃物定义为:“在生产建设、日常生活和其他活动中产生的污染环境的固态、半固态废弃物质。”由于认识及观念上的不同,对固体废弃物的定义也不完全相同,如日本的《废弃物处理法》将它定义为:“垃圾、粗大垃圾、燃烧渣滓、污泥、粪尿、废油、废酸、废碱、动物尸体以及其他不要的固体或液体状物质”。

为了便于管理,国际上也将容器盛装的易燃、易爆、有毒、腐蚀等具有危险性的废液、废气,从法律的角度上定义为固体废弃物,执行固体废弃物管理法规,划入固体废弃物管理范畴。

11.1.2　固体废弃物的产生(Generation of Solid Wastes)

固体废弃物问题是伴随着人类文明的发展而发展的。在人烟稀少、生产力非常低下的原始社会,人类遇到的固体废弃物问题主要是生活过程中产生的垃圾污染。在漫长的岁月里,人口增长缓慢,生活垃圾的产生量不大,增长率不高,没有对人类环境构成大的威胁。随着生产力的迅猛发展,人口的快速增长,消费水平的不断提高,工业、农业和生活垃圾等固体废弃物的产生量剧增,大量的固体废弃物排入环境,造成严重的环境污染,成为当今社会主要的环境问题之一。

固体废弃物的产生有其必然性。一方面,人们在利用自然资源从事生产和生活活动时,由于实际需要和技术条件的限制,必然将其中的一部分作为固体废弃物丢弃。如在煤炭的开采中,必然把煤矸石作为固体废弃物丢弃;在用硫铁矿生产硫酸时,必然有大量的铁泥产生。另一方面,由于各种产品均有一定的使用寿命,超过了一定的限期,必然成为废物。随着生活水平的提高,由于产品的更新换代而产生的固体废弃物数量越来越大。

废物是一个相对的概念,在某一条件下是废物,在另一条件下可能成为宝贵的

资源。如煤矸石是煤炭行业的固体废弃物,由于其中含有大量的三氧化铝,是非常宝贵的铝资源。固体废弃物在某种意义上可视为“二次资源”。

11.1.3 固体废弃物的分类(Category of Solid Wastes)

固体废弃物的分类方法很多,如按化学性质可分为有机和无机固体废弃物;按危害程度可分为危险性固体废弃物和一般性固体废弃物;按物质的形态可分为固体(块状,粒状,粉状等)和半固体(泥状和浆状等);按固体废弃物的来源可分为工业固体废弃物、农业固体废弃物、城市固体废弃物(生活垃圾)、放射性固体废弃物等。一般按固体废弃物的来源分类应用较多,下面详细介绍这种分类方法。

固体废弃物按来源可分为以下几类。

1. 工业固体废弃物

指在工业生产过程和工业加工过程中产生的废渣、粉尘、碎屑、污泥等,主要有以下几种:

(1)冶金固体废弃物

主要指各种金属冶炼过程中排出的残渣,如高炉渣、钢渣、铁合金渣、铜渣、锌渣、铅渣、镍渣、镉渣、铬渣、汞渣、赤泥等。

(2)化学工业固体废弃物

主要指化学工业生产过程中产生的种类繁多的工艺渣,如硫铁矿烧渣、煤造气炉渣、油造气炭黑、黄磷炉渣、磷泥、磷石膏、烧碱盐泥、纯碱盐泥、蒸(精)馏残渣、废母液、废催化剂等。

(3)石油工业固体废弃物

主要指炼油和油品精制过程中排出的残渣。如碱渣、酸渣以及炼油厂污水处理过程排出的浮渣、含油污泥等。

(4)燃料灰渣

主要指煤炭开采、加工、使用过程中排出的煤矸石、粉煤灰、烟道灰、炉灰、页岩灰等。

(5)食品工业固体废弃物

主要指粮食、食品加工过程中废弃的谷屑、下脚料、渣滓等。

(6)矿业固体废弃物

主要指废石和尾矿,废石是各种金属、非金属矿山开采过程中从主矿上剥离下来的各种围岩,尾矿是在选矿过程中提取精矿以后剩下的尾矿。

(7)其他工业固体废弃物

主要指其他工业行业产生的固体废弃物,如机械工业和木材工业产生的碎屑、边角下料、刨花等,纺织、印染工业产生的泥渣、边角料等。

2. 城市固体废弃物

指居民生活、商业活动、市政建设与维护、机关办公等过程中产生的固体废弃物,主要有以下几类:

(1)普通生活垃圾

指人们日常生活中产生的固体废弃物,主要来源于居民的厨房、庭院、机关、事业单位等,其中包括废纸、废塑料、废橡胶、皮革、玻璃陶瓷、废金属、废电池、废电器、厨房废物、废交通工具、废旧家具等。

(2)商业垃圾

指商业过程中产生的固体废弃物,主要包括废纸和废纸制品、废旧的包装材料、丢弃的主副食品、灰土等。

(3)粪便

主要来源于居民区的化粪池。在我国,由于经济发展相对落后,在大多数的中小城市,特别是建设较早的住宅小区和广大的棚户区,几乎没有系统的小区污水处理设施,粪便需要人工收集和清运,是城市固体废弃物的主要组成部分。

(4)建筑垃圾

建筑垃圾包括废砖瓦、碎石、渣土、混凝土碎块(板)等。建筑垃圾一般由建筑单位自行处理。

3. 农业固体废弃物

主要指农业生产、畜禽饲养、农副产品加工以及农村居民生活活动排出的固体废弃物,主要有植物秸秆、米糠、玉米芯、人和畜禽粪便等。

4. 放射性固体废弃物

主要指核燃料生产、加工,同位素应用,核电站,核研究机构,医疗单位,放射性废物处理设施等产生的固体废弃物。

5. 危险性固体废弃物

主要泛指除放射性固体废弃物以外,具有毒性、易燃性、腐蚀性、爆炸性、反应性、传染性等因而可能对人类的生活环境产生危害的固体废弃物。这类固体废弃物的数量约占总量的 1.5%～2.0%,其中大约 50% 为化学工业固体废弃物。对于这类固体废弃物应单独列出加以管理。1983 年,联合国环境规划署已经将危险性固体废弃物污染控制问题,列为全球重大的环境问题之一。

第二节 固体废弃物的特点和危害
(Characteristic and Harm of Solid Wastes)

11.2.1 固体废弃物的特点(Characteristic of Solid Wastes)

固体废弃物主要有以下特点:

(1)固体废弃物呆滞性大,扩散性小

由于固体特有的性能,固体废弃物进入环境后,其在环境介质中的扩散性很差,它对环境的影响需通过水、大气或土壤进行,没有这些媒介,就不会对环境造成很大的危害。

(2)固体废弃物品种繁多,数量巨大

从固体废弃物的分类可看出,其种类非常多,工业固体废弃物的种类就有上百种,而且数量很大。据统计,1994 年全国的工业固体废弃物的年产生量为 6.2 亿吨,累计积存量已达 70 亿吨。到 2001 年,工业固体废弃物的年产生量为 8.87 亿吨,平均年增长率为 5%。主要集中在煤炭、电力、化工和冶金等四大部门,约占总量的 85% 以上,仅煤矸石、粉煤灰和锅炉灰渣三项的年产生量就有大约 3 亿吨,约占工业固体废弃物总量的 50%。

随着社会的进步,科学技术的发展,生活水平的提高,许多新的固体废弃物大量产生,其中电子固体废弃物的数量非常巨大,大量更新和废弃的家用电器和电脑成为新的危险性固体废弃物。据不完全统计,我国现在每年报废的电脑有 250 万台,预计 5 年后,每年报废的电脑将有 1250 万台。

废电池的数量也非常大,一个中等城市每年的废电池数量在一亿节左右,质量在几百到几千吨,据统计北京市每年的废电池数量大约在 3000 吨。

(3)分布广泛,密集都市

固体废弃物遍布于城乡的每个角落,但主要集中在人口稠密、工业发达的大中城市,特别是大型和特大型城市。据不完全统计,全国 52 座 50 万以上人口城市产生的城市垃圾占全国城市垃圾总量的 60%,8 座 200 万以上人口城市产生的城市

图 11.1 我国城市垃圾清运量(1979～1998)

垃圾占全国城市垃圾总量的 25％。1979～1998 年全国城市生活垃圾清运量的变化趋势见图 11.1。

11.2.2　固体废弃物的危害(Harm of Solid Wastes)

固体废弃物对环境的危害主要表现在以下几个方面。

1. 严重污染环境

固体废弃物进入环境后,直接对水环境、大气环境和土壤造成严重污染。

(1)对土壤的污染

土壤是固体废弃物的载体,无论是处理、处置还是堆放,都是在土壤上进行的,固体废弃物(特别是工业固体废弃物和危险性固体废弃物)中的有毒有害成分,经风化、雨雪淋溶、地表径流的侵蚀,产生大量有毒有害物质渗入土壤,危害土壤微生物,破坏土壤内的生态平衡,使土壤丧失腐解能力,导致土壤草木不生。如 20 世纪 60 年代,英国威尔士北部康卫盆地,某铅锌矿尾矿场由于雨水冲刷,毁坏了大片肥沃草原,土壤中铅含量超过极限一百多倍,严重污染了草原植物和牲畜,造成该草原废弃。在 80 年代,我国内蒙古的某尾矿场污染了大片土地,造成一个乡的居民被迫整体搬迁。据不完全统计,我国受工业固体废弃物污染的农田已达 30 万亩以上。

(2)对水体的污染

固体废弃物随降水、地表径流或随风飘迁进入河流湖泊等水体,使地表水体受到污染;随渗沥水进入土壤使地下水受到污染;如直接排入河流、湖泊或海洋,则污染更严重。

固体废弃物污染水体的事件在我国时有发生,如某铁合金厂的铬渣堆放场,由于缺乏必要的防渗措施,Cr^{6+} 污染了 20 多平方千米的地下水,致使 7 个自然村的 180 多眼水井无法饮用,工厂先后花费了 7000 多万元用于赔偿和采取补救措施。再如某锡矿山的含砷废渣长期堆放,没有有效的防范措施,结果随雨水的冲刷、渗透,污染了地下水,曾造成 300 多人因饮用了被污染的井水而集体中毒,最后导致 6 人死亡的严重事件。

城市生活垃圾未经无害化处理而任意堆放,已造成许多城市的地下水被污染。如哈尔滨某垃圾填埋场,由于防渗措施不好,造成地下水严重污染,致使其浊度、色度、酚及重金属汞、铁、铬、镉、锰等含量,和细菌总数、大肠菌群数等微生物指标都严重超标,如汞超标 29 倍,细菌总数超标 4.3 倍,大肠菌群数超标 41 倍。

(3)对大气的污染

固体废弃物对大气的污染,主要有以下三个途径。首先,经风起扬尘,大量的微小颗粒随风飘逸,严重污染大气环境;其次,有机固体废弃物在适宜的条件下,被

微生物分解而释放出大量的有害气体;再就是在固体废弃物的处理和处置过程中产生有害气体污染大气,如采用焚烧法处理,如果不对尾气进行必要的净化处理,大量的 Cl_2、HCl 等气体和粉尘对大气环境造成污染。

美国的罗芙运河(Love canal)事件(也称洛夫渠事件)是典型的固体废弃物污染事件。1930～1935 年,美国胡克化学工业公司,在纽约州尼亚加拉瀑布附近的罗芙运河(Love canal)废河谷填埋了 2800 多吨桶装有害废物,1953 年填平覆土,在上面兴建了住宅和学校。20 世纪 70 年代后,陆续发现该地区井水变臭,婴儿畸形,居民身患多种怪异疾病。经环境保护部门监测,当地的大气、地下水和土壤受到严重污染,检测出大量的有毒有害化学物质,其中,大气中就检测出有毒化学品 82 种,包括有二癸英在内的致癌物质 11 种。监测结果公布后,引起当地公众的强烈不满,爆发了大规模的示威游行,迫使政府于 1978 年关闭了该地区,将 2000 多居民迁移,使该地区成为禁区。美国政府和胡克公司赔偿近 5000 万美元。

罗芙运河事件迫使美国政府于 1980 年开始使用 16 亿美元的"超基金"对全美国的固体废弃物填埋场进行调查清理。到 1984 年底,共查明全美国有 36.8 万个填埋场存在安全隐患,需采取补救措施。为此,美国政府拨出了 85 亿美元用于这些填埋场的补救。

随着经济和技术的发展,固体废弃物的种类越来越多,特别是许多新化学品的不断投入市场,固体废弃物对环境的污染将会越来越严重。

2. 侵占大量的土地

随着工业的不断发展,固体废弃物的堆积量越来越大,占地越来越多。据估算,每堆积 1×10^4t 固体废弃物需占地 1 亩。据统计,一些国家固体废弃物侵占的土地为:美国 200×10^4 ha,英国为 60×10^4 ha,波兰为 50×10^4 ha。据不完全统计,2000 年我国的工业固体废弃物就占地约 7×10^4 ha。我国绝大部分城市利用市郊设置垃圾堆场,侵占了大量的农田,据调查,我国城市垃圾大约占地 8×10^4 ha。随着生产的发展,城乡居民生活消费水平的提高,固体废弃物侵占土地的矛盾将日益突出。

3. 影响环境卫生

由于大量的城市生活垃圾得不到及时的清理,一部分垃圾堆存在城市的一些卫生死角,严重影响城市的环境卫生,同时对人们的身体健康构成威胁。

第三节 控制固体废弃物污染的技术政策
(The Technical Policy of Controlling Solid Waste)

固体废弃物对环境的污染不同于废水、废气和噪声等污染源。固体废弃物的

第一大特性是呆滞性大,扩散性小,它对环境的影响主要通过水、大气和土壤而进行。同时,固体废弃物往往是许多污染成分的终极状态。通过对废气的治理,气体中的一些有害成分和粉尘最终富集成为废渣;通过对废水的处理,其中的有害成分很大一部分转变成为污泥或残渣;一些可燃性的固体废弃物经过焚烧处理,其中的重金属等有害成分富集在焚烧残渣中。所以,固体废弃物既是水体、大气和土壤环境的污染源,又是废水、废气等处理的终态物。

固体废弃物具有某些工业原材料的特性,是非常宝贵的二次资源,且相对容易收集、运输和处理,便于实现资源化。

基于固体废弃物的以上特性,控制固体废弃物污染的技术政策应遵循减量化-资源化-无害化的原则。

11.3.1　减量化(Reduce)

控制固体废弃物污染的首要条件是减少它的产生量,必须从资源的综合开发、合理利用;生产工艺的改革、产品的更新换代等多方面考虑,把清洁生产的理念贯穿于产品的生产和使用的全过程中。实现固体废弃物减量化的主要途径有以下几条。

(1)改革生产工艺,采用无废或少废的生产技术

生产工艺落后是产生固体废弃物的主要原因,应从生产工艺入手,采用无废或少废的生产工艺,从源头消除或减少固体废弃物的产生量。例如生产苯胺的传统工艺是用铁粉还原,生产中产生大量的含有硝基苯及苯胺等污染物的铁泥废渣。如改用流化床气相加氢还原新工艺,则不再有铁泥产生,固体废弃物的产生量由原来的大约 2500kg/t 下降到大约 5kg/t。

(2)采用精料

生产用的原材料的品位低,质量差也是造成固体废弃物大量产生的主要原因。如在选矿过程中提高矿石的品位,可大大降低高炉渣的产生量,工业发达国家采用精料炼铁,高炉渣的产生量可减少 50%。

(3)提高产品的质量,延长使用寿命

大量的城市垃圾是由日常生活品废弃产生的,如何提高产品的质量,延长产品的使用寿命是减少固体废弃物的另一重要途径。

在以上的几种途径中,最重要的是第一条,改革生产工艺,采用无废或少废的生产技术,属于清洁生产的范畴,是减少固体废弃物排放的关键措施。许多发达国家非常重视清洁生产,把推行清洁生产作为国家的基本政策,对实行清洁生产的企业实行优惠政策。如荷兰,对采用无废或低废的企业提供 15%～40% 的更新设备费用;法国为清洁生产示范工程提供 15% 的投资补贴和 50% 的科研费用。

11.3.2 资源化(Resourse)

固体废弃物资源化的基本任务是采用特定的工艺和设备,从固体废弃物中回收有用的物质和能源。

相对于自然资源来说,固体废弃物属于二次资源或再生资源,它虽不再具有原使用价值,但经过特殊的工艺和方法,可以获得新的使用价值。

从资源开发过程看,再生资源和原生资源比,可以省去开矿、采掘、富集等一系列复杂程序,保护和延长原生资源寿命,弥补原生资源不足,保证资源的可持续发展。同时,可以节约大量的投资,降低成本,减少环境污染,具有明显的社会效益、经济效益和环境效益。

固体废弃物的资源化应遵循以下原则:资源化技术是可行的;资源化有较好的经济效益;资源化产品应符合国家相应的产品质量标准;应尽可能在排放源附近进行资源化,以节约储存和运输费用。

11.3.3 无害化(Harmless Treatment)

无害化的基本任务是通过工程处理,达到使固体废弃物不损害人体健康,不污染环境的目的。

经减量化和资源化处理,固体废弃物的数量大大减少,但总还有部分残渣,对这部分残渣必须作最终处置,最终处置是实现固体废弃物无害化的有效途径。最终处置主要有土地填埋、深井灌注和深海投放等。

目前,无害化处理工程已经发展成为一门崭新的工程技术,除最终处置外,像焚烧、热裂解、堆肥、厌氧发酵等也是较成熟的无害化技术。在利用这些无害化技术进行固体废弃物的无害化处理时,还能回收部分能源。所以,这些无害化技术也是实现固体废弃物资源化的有效途径。

固体废弃物的减量化-资源化-无害化是相互独立又相互关联的。减量化主要是指减少固体废弃物的发生量;资源化是减少固体废弃物排放量的有效途径,在资源化的过程中,同时也伴随着无害化;在无害化的过程中同时也实现了资源化。

第四节 固体废弃物的管理技术
(Technology of Managing Solid Waste)

在国际上,固体废弃物的管理技术大约经历了 30 年的发展过程,已经从理论上和实践上确立了对固体废弃物,尤其是对危险性固体废弃物实行全过程管理原则(从固体废弃物的产生、收集、运输、储存、资源化、处理直至最终处置)和“三化”原则(即减量化、资源化、无害化),形成了“从摇篮到坟墓”的完整的管理控制体系。

工业发达国家还制定出严格的固体废弃物管理法规,设置专门的管理机构,建立管理信息系统,开发和建设集中性的固体废弃物处理、处置设施,逐步形成了完整的管理体系,以实现对固体废弃物的有效管理和控制。目前固体废弃物的主要管理技术包括:

①固体废弃物的最小量化管理技术。

②固体废弃物的转移跟踪管理技术。

③固体废弃物的交换管理技术。

④固体废弃物的储存、处理、处置经营许可证制度。

⑤固体废弃物的管理信息系统。

11.4.1　固体废弃物的最小量化管理技术(Managerial Technology of Decreasing Solid Wastes to Minimum)

防止固体废弃物污染的最佳途径是不产生或少产生固体废弃物,使需要储存、运输和处理处置的固体废弃物数量降低到最少的程度,这就是固体废弃物的最小量化管理,其涉及的技术范围包括原料管理技术、生产工艺革新技术、固体废弃物的回收利用和再循环技术、减容技术等。固体废弃物最小量化管理的基本途径如下图所示:

11.4.2　固体废弃物的转移跟踪管理技术(Managerial Technology of Tracing Transferred Solid Wastes)

按照全过程管理的原则,固体废弃物从产生到最终处置的每个环节都要实行监督管理,固体废弃物的转移跟踪管理技术即是体现这一管理原则的重要组成部分。实施固体废弃物的转移跟踪管理的核心内容是,废物每发生一次转移,都必须由提供废物者填写固体废弃物转移报告单(又称"货单"),分送废物运输者、接受者及主管部门,同时执行废物交验、信息反馈制度。固体废弃物转移报告单填写内容包括产废者、运输者和接受者的具体情况信息,固体废弃物的特性和数量,包装和

识别标志等。实施固体废弃物的转移跟踪管理技术,明确了固体废弃物产生者、收集者、运输者、处理处置者和主管部门在废物转移过程中承担的责任和义务,确保固体废弃物最终得到安全处置。

固体废弃物的转移跟踪管理技术在发达国家和地区普遍使用,目前在我国还只是在部分行业和地区试行,收到了一定的效果。

11.4.3 固体废弃物的交换管理技术(Managerial Technology of Exchanging Solid Wastes)

一个行业或企业的固体废弃物可能是另一个行业或企业的原料。作为现代工业社会提出的固体废弃物交换制度,是利用高科技信息技术使固体废弃物资源得以合理配置利用的系统工程,而不同于一般意义上的综合利用和"变废为宝"。1972 年,荷兰创立了世界上第一个固体废弃物交换机构 Afvalbeurs,在此之后,前联邦德国工业协会建立了固体废弃物交换中心,获得了更大的成功,固体废弃物交换率高达 30%,参与交换的各大公司均获得了相当高的效益。一时间,固体废弃物交换风行整个欧洲,促使欧共体于 1978 年成立了欧洲国家固体废弃物交换市场。在 1974 年,固体废弃物交换概念传入美国,建立了该国最早的固体废弃物交换中心即圣-路易斯州工业固体废弃物交换中心。目前,美国和加拿大已建成并正在运行的有 20 多个固体废弃物交换中心,这些中心形成了网络体系。从 20 世纪 80 年代开始,日本也开始实施固体废弃物交换计划。

固体废弃物交换有两种形式,信息交换型和实物交换型。前者只收集和发布固体废弃物交换信息,不收集固体废弃物,也不参与交换谈判,是一种非营利型机构;后者收集、加工处理固体废弃物并销售有关产品,参与交换谈判,是一种主动的营利型机构。

1989 年,在上海市成立了杨浦区废酸碱调剂中心,仅两年多的时间就成功地交换了 2 万吨的废酸、碱,为企业取得了百万元以上的经济效益,调剂中心也获得了可观的经济效益。1992 年,国家环保局在该调剂中心的基础上成立了全国首家固体废弃物交换中心。

11.4.4 固体废弃物的储存、处理、处置经营许可证制度(Managerial Permit System for Storage, Treatment and Disposal of Solid Wastes)

固体废弃物储存、处理和处置经营者必须取得经营许可证,以保证相应设施安全有效、符合标准。欲获得经营许可证者,须向主管当局提出书面申请,申请内容主要有:拟接受的固体废弃物种类、性质、成分和数量;对拟接受固体废弃物的储存、处理处置方式、时间、速度和比例;储存、处理处置设施情况和所在地点;储存、处理和处置费用。对固体废弃物的特别处理都必须另行申请许可证。

11.4.5　固体废弃物的管理信息系统(Management Information System of Solid Wastes)

固体废弃物的管理信息系统在工业发达国家已广泛建立并正式运行,成为固体废弃物管理中必不可少的工具。英国伦敦废物管理局内有一套完整的固体废弃物管理信息系统,这个系统储存了固体废弃物从产生到最终处置各个环节数据资料,具有较强的数据处理功能。丹麦环境部固体废弃物管理处、芬兰环境部固体废弃物管理处、美国国家环境局下属的废物管理和风险应急办公室,都拥有类似的计算机信息系统。固体废弃物管理信息系统的主要功能有:提供产废企业、废物承运者和处理处置企业信息资料;废物流资料(包括废物流代码,废物类型,理化特性,产废工艺等);同时还能对废物转移进行跟踪管理,并设有收费管理系统及经营许可证发放管理系统。

在我国,从1992年开始了固体废弃物申报登记试点工作,将借鉴国外先进的经验和技术,开发并建立适合我国国情、功能强大的固体废弃物管理信息系统。

第五节　固体废弃物的资源化技术
(Technology of Reusing Solid Waste)

11.5.1　固体废弃物资源化的意义(Benefit of Utilization of Solid Wastes)

固体废弃物的资源化是指对已产生的固体废弃物进行有效的综合利用,使之转化为可供利用的二次资源。其基本任务就是用适当的工艺措施,从固体废弃物中回收有用的物质和能源。在当前资源形势严峻的前提下,固体废弃物的资源化具有重大的意义。

在自然资源中,有许多是不可再生资源,如煤炭、石油和金属矿床等,随着经济的发展,人口的增长,消耗的资源越来越多,资源耗竭的速度越来越快。如全世界的石油资源按现在的消耗速度,经过50～60年就将耗尽;煤炭资源也只有100～200年的时间;许多金属矿藏只有几十到几百年时间都将耗尽。

在全世界面临资源紧缺的形势下,尽快找到替代资源是全世界共同关心和面临的紧迫任务。在此情况下,固体废弃物资源化就显得更加重要,受到全世界各国的普遍重视。如欧洲国家把固体废弃物资源化作为解决固体废弃物污染和能源紧张的重要途径之一,将其列入发展经济的主要政策之中,从人力和财力上大量投入加以保证;美国将固体废弃物列入资源的范畴,将资源化作为处理的替代性技术措施;在资源匮乏的日本,将固体废弃物资源化列入国家发展的重点政策之中。

我国的资源形势也十分严峻,资源总量虽然很大,但人均占有量却很小,同时,我国走的是一条资源消耗型发展经济之路,粗放式的经营,资源浪费严重,使我国

单位产值的固体废弃物量远远高于发达国家;我国工业生产大部分技术工艺落后,设备陈旧,生产的产品收率低,合格率低,质量差,使用寿命短,更有大量的资源浪费严重,产品产量低,质量差,环境污染大的小化工、小造纸等小企业,不仅浪费了许多宝贵的资源,更使固体废弃物的产生量大量增加,也更加重了我国的资源形势。

我国固体废弃物的综合利用率也很低,工业固体废弃物的综合利用率大约20%,其中钢渣的利用率最好也就40%左右,而发达国家的钢渣利用率都在80%以上,日本和法国的钢渣利用率均在100%。

固体废弃物中含有大量的可资源化的物质和能源,如煤矸石中含有大量的Al_2O_3,可以作为二次铝资源来开发利用;城市固体废弃物(城市垃圾)中含有大量的能源和有用物质,综合利用的潜力巨大。

11.5.2 固体废物能的利用(Energy Utilization of Solid Wastes)

工业固体废弃物、城市垃圾和农业固体废弃物中含有大量的可燃组分,可以作为一种潜在的能源来开发利用,且来源广泛,成本低廉,蕴藏量巨大。对固体废物能的开发利用是固体废弃物资源化的重要组成部分。

1. 作为辅助燃料

有部分的固体废弃物有一定的发热量,可作为辅助燃料直接使用。如煤矸石一般发热量为1000~3000kJ/kg,烧失量大约10%~30%,完全可以作为辅助燃料使用。假如在燃烧设备上作适当的改造,煤矸石也可作为主燃料使用,如煤矸石发电厂等。

城市垃圾中含有大量的废纸、废塑料、废橡胶等可燃成分,具有较高的热值,对城市垃圾进行适当的加工处理,可得到一种具有较高发热量的垃圾燃料,英文缩写RDF(refuse derived fuel),这种RDF的热值一般在5300~17000kJ/kg,比原垃圾的性质更稳定,水分和灰分含量更低,是一种不吸潮,可长期储存的经济型燃料。

RDF一般的生产工艺如下:

以上生产工艺生产的RDF称为粗燃料,这种粗燃料经过筛选和二次破碎,得到一种蓬松、轻质的软燃料,软燃料压实成小丸状的团块物质称为密实燃料。如美国的Ames Iowa工厂,1982年建成,日处理垃圾13600kg,生产的RDF送到Ames市的市政发电厂作为煤的辅助燃料使用。

许多固体废弃物的潜在能量,可通过焚烧的方法回收利用。焚烧法不仅能回收能源,同时,经焚烧处理,固体废弃物的体积可减少 80% ～95%,一些有害固体废弃物经过焚烧,可达到破坏其组成、杀灭细菌和病原体,达到无害化的目的。焚烧法在实现资源化的同时也实现了减量化和无害化,是一条重要的固体废弃物的处理和处置途径。

一般认为,固体废弃物的净热值低于 5000kJ/ kg,焚烧法不是一个合适的方法,当净热值大于 6000 kJ/ kg 时,可考虑用焚烧法回收热量。

焚烧固体废弃物回收热能的基本途径有两条,如规模较小,可直接回收热能用于供热;规模较大的可用于发电,在发电时,由于固体废弃物成分变化较大,热值不稳定,为确保发电机组正常工作,必须配备一台燃煤锅炉,以便根据实际情况及时调节。

在运用焚烧法回收热能时,可能有"二次污染"问题,主要是大气污染问题,具体表现如下:

①在进料、储存、装卸等过程中会引起臭味、尘埃和纸屑等的外逸和飞扬。

②在焚烧时,由于不完全燃烧,烟气中含有 CO、挥发性有机物(如二癸英等)、焦油和碳粒等污染物。

③固体废弃物中可能含有 Cl、S、N 等元素,在焚烧过程中形成 SO_2、NO_2 和 HCl 等污染气体。

④部分金属和无机盐类在焚烧过程中蒸发,冷却后形成悬浮物。

因此在用焚烧法处理固体废弃物时,应注意对"二次污染"的预防,既要考虑无机物如 SO_2、NO_2、HCl、重金属和盐类的防治,又要重视对挥发性有机物以及尘埃的预防。

焚烧法处理城市垃圾在发达国家已经非常普及,而在我国由于生活水平较低,城市垃圾中有机物含量不高,热值较低,用焚烧法处理城市垃圾并不合适。据调查,从 1995 年开始,随着居民生活水平的不断提高,特别是随着燃气化普及率的提高,我国大城市和特大城市的城市垃圾中有机物含量明显提高,基本上达到了焚烧法处理的要求。

国内最早是在深圳市建立了城市垃圾焚烧工厂,1985 年 8 月动工,1988 年 5 月建成。全套引进日本三菱重工的两条焚烧处理设备,该厂总投资 4700 万元人民币(包括整套设备 510 万美元和其他配套设施),占地 23000 m^2。日处理垃圾 300t(各 150t/ d),当时能处理全市垃圾的 75%,处理能力现在已远远不够,每天利用余热发电 1.2 万度。其焚烧工艺流程如图 11.2 所示。

2　固体废弃物热解回收燃料

热解也称热裂解,就是利用有机物的热不稳定性,在无氧或缺氧条件下受热分

图 11.2 焚烧工艺流程图

解,也可以在催化剂的作用下进行热裂解。热解的产物一般为可燃的低分子化合物如 H_2、CH_4、CO、甲醇、丙酮、乙醛、乙酸、汽油、煤油、焦油等及固态的炭黑和焦炭等。焚烧法产生的热量可就近供热或发电,而热解的产物主要为燃料气和燃料油,也可以是有机单体。

随着现代化工业发展和人民生活水平的提高,固体废弃物中有机物的组分不断提高,特别是大量的合成材料的使用,使固体废弃物(特别是城市垃圾)中废塑料、废橡胶等大量增加,这些合成材料有的不能燃烧或不能充分燃烧,有的在燃烧过程中产生大量的有毒有害气体,显然用焚烧法处理不合适,热解法就比较合适处理这类固体废弃物。

热解以供热方式不同分为内部加热和外部供热两种,内部加热就是由固体废弃物内部的可燃物部分燃烧来提供热解所需的能量;外部供热就是由外部额外提供热能。像城市垃圾等的热解一般采用内部加热的方式,而废塑料和废橡胶等的热解由于没有内部热量可供只能采用外部供热。

3. 废旧塑料的热解

随着生活水平的不断提高,大量的塑料制品应用到日常生活中,像聚乙烯、聚氯乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯等的大量使用,引起了严重的环境污染和资源浪费,对这些废塑料一般可用热解的方式加以回收利用。在这方面日本做了大量的研究工作,开发出了许多成熟的工艺流程,已经进入了实际应用阶段。例如日本三洋电机根据塑料导热系数低的特点开发利用微波炉与热风炉加热、减压蒸馏的流程,其流程图见图 11.3。日本川崎重工利用聚氯乙烯(PVC)脱氯化氢的温度比聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)和聚苯乙烯(PS)分解的温度低这一特点,将 PE、PP、PS 在接近

400℃时熔融,形成熔融液浴使 PVC 受热分解。该流程图见图 11.4。我国在这方面的研究工作才起步不久,许多技术还停留在实验阶段。

图 11.3　微波加热减压蒸馏废塑料流程

1. 废塑料加料斗; 2. 熔融槽; 3. 反应炉; 4. 微波电源; 5,6. 冷凝器; 7. HCl 回收塔; 8. 纳氏泵; 9. 气柜; 10. HCl 槽; 11. 油槽

图 11.4　取氯烃浴加热分解废塑料流程

1. 废塑料加料斗; 2. 聚烯烃浴加热分解炉; 3. 燃烧室; 4. 轻质油; 5. 空气; 6. 重质油分离塔; 7. 轻质油分离塔; 8. 轻质油槽; 9. 热交换器; 10,13,14,18. 泵; 11. HCl 吸收塔; 12. HCl 储槽; 15. 洗涤塔; 16. 除雾器; 17. NaOH 水溶液储槽; 19. 给水储槽; 20. 残渣; 21. 轻质油; 22. 盐酸; 23. 烟筒; 24. 再加热室

热解是一个伴随着许多化学反应和物理反应的复杂过程,热解的产物也非常复杂。不同的原料热解的产物当然不同;相同的原料不同的热解工艺,产物也不尽

相同;相同原料和相同的热解工艺,不同的工艺条件和工艺参数,产物也不尽相同。

废旧塑料的热解工艺流程很多,热解的产物一般是 $C_1 \sim C_{30}$ 的碳氢化合物、HCl 等气体和部分固体(主要是残渣和无机填料),其中 $C_1 \sim C_4$ 为气体,$C_5 \sim C_{20}$ 为优质燃料油,$C_{21} \sim C_{30}$ 为重油。

近几年来,催化热裂解工艺发展很快,催化剂对热解产物影响很大,选用合适的催化剂,可以使热解产物中某一种或某一类产物的含量大幅提高,如在废旧塑料的热解中选用特定的催化剂可以使裂解产物主要为气体或优质汽油。

使用催化热解,可以从某些废塑料中回收塑料单体,如聚苯乙烯废塑料经热解可回收苯乙烯单体,选用合适的催化剂和合理的工艺流程,可以使苯乙烯单体的回收率很高。

由于废塑料中含有大量的不饱和烃,在热解过程中由于氢的缺乏,造成积炭现象的产生,残渣中就有部分这种积炭。采用加氢热解可以解决积炭产生并提高产率,但加氢热解对设备的要求很高,成本也较高,不能大量使用。

残渣中的积炭是一种多孔疏松物质,经适当的表面处理,这种残渣可以制成吸附剂使用,这种吸附剂可广泛应用在废水处理和废气处理中。

4. 城市垃圾的热解

随着居民生活水平的提高,城市垃圾中有机组分越来越多,其中有大量的废纸、废塑料、废橡胶、合成纤维和天然纤维素等,可以用热解的方法回收燃料油和燃料气。

热解产物中气体、液体和固体的比率主要受垃圾组成和热解温度的影响较大。不同来源的垃圾,热解产物变化很大,如垃圾中纸和纤维素含量较高时,热解产物中气体和固体的量较大,而液体的量就相对较小。温度对热解产物的影响非常大,一般来说,热解的温度较低,热解产物中气体的含量较低,而液体和固体含量较高;温度较高时,产物中气体量明显增大,液体和固体的产率减少。同时,加热速率对热解产物也有一定影响。

目前,世界各国研究的热解系统较多,主要有:

①移动床热解系统。分为外热式和内热式两种,外热式移动床系统就是利用热解后的燃气来加热热解炉,内热式系统就是将热解后的残渣在热解炉底部用预热空气进行氧化反应,利用氧化反应放出的热量来加热热解炉。

②流化床热解系统。该系统开发较早,但由于垃圾料质的不均匀性和某些组分(如废塑料等)的熔融性,使得该系统的实际应用受到较大的限制,一般用于热解组分较单一的固体废弃物,像单一的废塑料的热解都用该系统。

③转炉热解系统。一般炉身以 2～3r/min 的速率转动,通部分空气进行内热式热解,该热解系统尚处于小规模应用阶段。

热解法对于含纸张、木屑、塑料、橡胶、污泥等生活和工业有机垃圾尤为适用。垃圾的热解与垃圾其他的处理方法(如堆肥,填埋,焚烧等)相比,具有能源回收率高,二次污染小,占地少,综合经济效益好的优点。垃圾的热解不失为一种资源化和无害化的优良处理方法,和垃圾的焚烧法一样,是城市垃圾处理的发展方向。

垃圾经高温热解后减容率达 60％～80％,热解后的残渣有害物质的量较少,可作为铺路原料、土壤改良剂、吸附剂等来使用。

5. 固体废弃物厌氧发酵回收能源

厌氧发酵就是在厌氧条件下,有机物经厌氧菌分解产生甲烷(即沼气)的过程。产生的沼气可以发电,也可以直接供居民作燃料和照明用。厌氧发酵后的残渣是优良的腐殖土,可以作饲料,也是优良的肥料。

适合用厌氧发酵回收能源的固体废弃物有许多,如人畜粪便、农作物秸秆等农业固体废弃物、城市垃圾和工业固体废弃物(如污泥)等。

影响厌氧发酵的主要因素是发酵的温度和体系的 pH。其中温度对发酵的影响很大,现代的厌氧发酵一般采用三种发酵温度,即低温发酵、中温发酵和高温发酵。

低温发酵也即自然温发酵,这种发酵工艺流程简单,但发酵时间较长(一般需几个月时间),产气率低,且不易达到杀灭病原体等致病微生物的目的。

中温发酵一般控制温度在 37～38℃,这是甲烷菌的第一个最佳活性温度;高温发酵一般控制温度在 52～53℃,这是甲烷菌的第二个最佳活性温度。中温发酵和高温发酵的工艺流程较复杂,能耗较高,管理也较复杂,但产气率高,发酵时间短(一般中温发酵 1 个月左右而高温发酵 10～20 天左右),适合于现代工厂化的发酵装置。

厌氧发酵对 pH 的要求也很高,甲烷菌的最佳 pH = 6.8～7.0,所以在发酵过程中一般控制体系的 pH 在 6.8～7.5 之间。

虽然是厌氧发酵,但在发酵的过程中也需一定量的氧气,必须在发酵过程中对物料进行必要的搅拌,一般有机械搅拌和气体搅拌两种,气体搅拌可以用空气也可以用氮气搅拌。

我国农村利用厌氧发酵工艺产生沼气已有较长的历史,主要是利用农作物秸秆和人畜粪便作原料,在自然温度下厌氧发酵,产生沼气以供照明和燃烧,发酵后的残渣可以作为农家肥料和饲料使用,为发展生态农业创出了新路。

农村这种自然温度厌氧发酵,工艺简单,但发酵时间长,产气率低,规模小,效益差;现代化的厌氧发酵是工厂化的,具有规模大,时间短,产气率高的特点。

城市垃圾经回收了废塑料、废橡胶、废金属、废玻璃、废旧电器和再生燃料(RDF)后,经粉碎水洗,这种废水是高浓度的有机废水,对这种废水可以用厌氧发

酵的方法产生甲烷,再利用甲烷发电。1995 年,丹麦和德国分别建有 19 座这种工厂,在建的分别有 8 座和 20 座,像奥地利、比利时、加拿大、美国、英国、瑞士、意大利、法国、荷兰和波兰等国都建有这种城市垃圾的厌氧发酵回收能源的现代化工厂。芬兰依高泰技术公司在我国广东番禺建有这方面的示范工厂。

11.5.3 固体废弃物中可利用组分的回收(Recovery of Available Parts from Solid Wastes)

固体废弃物中有许多可直接利用和间接利用的物质,如化工原料、废纸、废金属等,经回收后可直接利用。

1. 城市垃圾中可利用组分的回收

从城市垃圾中可直接回收废纸、废玻璃、废塑料、废橡胶、黑色金属和有色金属等。首先,提倡城市垃圾的分类收集。提倡从垃圾的始发地即每户居民开始,将垃圾中能直接回收的组分(如废纸,废塑料,废橡胶,金属,纺织品,废玻璃,旧家具等)和有毒有害组分(如废电池,荧光灯管等)及其他组分分类投入不同的垃圾筒(箱)内,这样大大有利于城市垃圾的回收利用。城市垃圾的分类收集在发达国家比较普遍,而在我国才开始在部分城市试点,但由于城市居民的整体环保意识不高,同时城市管理者的管理水平也较低,试点工作的效果并不理想。

其次,加强对废品回收工作的管理,提高回收效率。

对城市垃圾中可利用组分的回收,可采用人工分选(拣)和机械分选的方法回收,由于我国人力资源丰富且人工便宜,在一定时期内,采用人工分选(拣)的方法回收城市垃圾中的有用组分是符合我国国情的。在条件成熟时,可考虑采用机械分选的方法,如利用磁选来分选废钢铁;利用涡电流分选有色金属;利用光电原理分选废玻璃;利用旋风分选废纸等。

据调查,一个大型的城市垃圾倾倒场平均养活 200 多人,这 200 多人以拣垃圾中的废品回收为生,这一现象既不文明也不卫生。如以每人每天回收废品 10 元计,一个大型的城市垃圾场每年的资源回收价值在 70 万元以上,这还不包括不计其数的走街串巷的拾荒者回收资源的价值。由此可见,城市垃圾中蕴藏的可回收资源的价值是非常巨大的。

2. 从工业固体废弃物中回收有用物质

工业固体废弃物中有大量可直接回收利用的物质,可采用物理和化学的方法回收利用。下面介绍几种典型的工业固体废弃物中有用物质的回收应用实例。

①煤矸石。煤矸石中含有大量的铝、铁、锰等金属,可以用化学的方法来提取其中的有用组分,制备各种化工产品如絮凝剂等。根据不同产地煤矸石的化学组

成不同,还可以提取白炭黑、高纯度 V_2O_5、锗等贵金属,用它还可制备水玻璃等。

②粉煤灰。由于燃烧不完全,有大量未燃烧的煤炭进入了粉煤灰,可采用浮选或电选的方法回收其中的煤炭;在燃烧过程中,金属铁一般变成了氧化铁,可以用磁选的方法回收铁;也可从粉煤灰生产分子筛;粉煤灰中含有大量的氧化铝,是优良的铝资源,有许多的方法可回收其中的铝资源。

③赤泥(氧化铝厂残渣)。可以回收 Al_2O_3和 Fe_2O_3等产品,也可以用来制备水处理用絮凝剂。

④硫铁矿渣(硫铁矿制硫酸的残渣)。用磁选的方法回收精铁矿;有的硫铁矿渣中含有大量的铜、铅、锌、金、银等金属,用氯化焙烧的方法,使有色金属转化为氯化物而回收。

⑤钢渣。一般钢渣中 V_2O_5的含量在 5 %～10 %,可提取高纯度的 V_2O_5。

⑥铬渣(铬铁矿生产铬酸钠的残渣)。可直接利用它来代替铬矿粉作玻璃的着色剂。

⑦废催化剂。在化工生产和石油化工生产中,使用大量的贵金属和非贵金属催化剂,使用一段时间后就因失活而废弃,从废催化剂中回收钼、镍、钴、铋、钒、银等贵金属,有巨大的经济效益和环境效益。

11.5.4　固体废弃物的建材利用(Utilization of Solid Wastes to Architecture Stuff)

随着我国经济和社会的不断发展,基础设施建设和居民住宅建设得到迅速发展,对建筑材料数量的需求越来越大,质量的要求越来越高。许多固体废弃物在制造建筑材料,特别是新型建筑材料方面大有可为。

1. 煤矸石在建筑材料方面的利用

(1)煤矸石制水泥

煤矸石中二氧化硅、氧化铝和氧化铁的总含量一般在 80 % 以上,是一种天然黏土质原料,可代替黏土配料烧制普通硅酸盐水泥、快硬硅酸盐水泥、煤矸石炉渣水泥、无(少)熟料水泥等。

①煤矸石硅酸盐水泥(普通硅酸盐水泥)。以煤矸石替代黏土配制水泥生料烧制成的胶凝材料。煤矸石主要提供水泥中的二氧化硅、氧化铝和氧化铁。

②煤矸石快硬硅酸盐水泥。利用氧化铝含量较高的煤矸石和石灰石、铁粉混合磨成生料,然后与无烟煤混拌,加水制成生料球后煅烧(温度 1400～1450℃)。将其烧成的熟料和石膏磨细即成为快硬硅酸盐水泥。煤矸石快硬硅酸盐水泥熟料参考配比为石灰石:煤矸石:铁粉 = 0.82:0.13:0.05,还需加入少量无烟煤和水。煤矸石快硬硅酸盐水泥具有早期强度高、凝结硬化快等特点,其各项性能指标均符合国家标准《快硬硅酸盐水泥》(GB 199—79)的规定。

③煤矸石炉渣水泥。将煤矸石与粒径 1㎜ 以下的烟煤(或无烟煤)混合后(70％煤矸石,30％烟煤或无烟煤),喷入沸腾炉内在 900～1000℃下煅烧,煅烧后的炉渣再与生石灰、石膏混合磨细即成煤矸石炉渣水泥。其参考配比为:煤矸石炉渣67％～77％,生石灰 15％～25％,石膏 8％。生产该种水泥时,要求生石灰中氧化钙含量在 60％以上;采用低碳量的煤矸石,制成的水泥构件需热气养护。

④煤矸石少熟料水泥。也称煤矸石砌筑水泥,用 67％的煤矸石 + 30％的水泥熟料 + 3％的石膏,原料不经煅烧,直接磨制而成,标号可达 150 号,能符合配制砌筑沙浆的要求,是近年才列入国家标准的水泥新品种。

⑤煤矸石无熟料水泥。直接把具有一定活性的煤矸石与石灰、石膏(也可加入适量的高炉水渣)按一定比例混合磨细而成。此种水泥早期强度不高,凝结硬化缓慢,不宜用在时间紧和强度要求高的工程上。使用这种水泥关键在于加强养护,特别是早期养护。

⑥煤矸石空心砌砖。煤矸石空心砌砖是以煤矸石无熟料水泥作胶结料、煤矸石作粗细骨料、加水搅拌配制成半干硬性混凝土,经振动成型,再经蒸气养护而成的一种新型墙体材料。其规格可根据实际需求而定。生产煤矸石空心砌砖是实现煤矸石资源化的一条重要途径,具有煤矸石耗量大,经济实用等特点。

⑦用煤矸石生产轻骨料。轻骨料是为了减少混凝土的密度而选用的一类多孔骨料,轻骨料应比一般碎石的密度小得多,有些轻骨料可以浮在水面上。用于生产轻骨料的煤矸石最好是碳质页岩或洗煤厂排出的矸石,将其粉碎磨细后加水制成球,用烧结机或回转窑焙烧,使矸石球膨胀,冷却后即成轻骨料。

(2)煤矸石制砖、瓦

煤矸石经过配料、粉碎、成型、干燥和焙烧等工序可制成砖和瓦,其生产工艺与普通黏土砖瓦基本相同。煤矸石砖瓦颜色均匀、声音清脆;抗冻、耐酸耐碱等性能较好。

①煤矸石半内燃砖的生产。利用煤矸石本身的发热量作为内燃料,将煤矸石均匀掺入黏土内压制成砖坯,经干燥焙烧而成。这种砖比普通砖节约用煤量 50％～60％。

②煤矸石微孔吸声砖。微孔吸声砖具有隔热、保温、隔声、防潮、防火、防冻等性能,是良好的环保建筑材料,且质轻、性能可靠、便于运输。煤矸石微孔吸声砖的生产工艺是将煤矸石粉碎后与白云石、半水石膏混合,送入硫酸溶液中混拌,白云石和硫酸反应产生气泡,使混合料膨胀,然后浇注入模,之后经干燥、焙烧而成。

③煤矸石瓦。煤矸石瓦的生产工艺与一般土瓦的生产工艺基本相同。利用煤矸石生产瓦,减少了黏土用量,节约了土地资源。

2　粉煤灰在建筑材料方面的利用

粉煤灰具有良好的物理和化学性能,有巨大的综合利用价值。用粉煤灰制备建筑材料是有效利用大宗粉煤灰的主要途径之一。用粉煤灰可以生产粉煤灰水泥、粉煤灰混凝土、粉煤灰烧结砖、粉煤灰蒸养砖、粉煤灰砌块等。

(1)粉煤灰水泥

我国从 20 世纪 50 年代开始研制和生产粉煤灰水泥,1979 年第一次将粉煤灰水泥列为水泥五大品种之一。粉煤灰水泥也称粉煤灰硅酸盐水泥,它是由普通硅酸盐水泥熟料和一定量的粉煤灰,加入适量的石膏磨细而成的水硬胶凝材料。粉煤灰硅酸盐水泥的基本性能与一般普通硅酸盐水泥相似,因而统称普通硅酸盐水泥。粉煤灰硅酸盐水泥的特性是水化热低、抗渗和抗裂性好、对硫酸盐浸蚀和水浸蚀具有抵抗能力,对碱反应能起一定的抑制作用。该品种水泥的早期强度不高,但后期强度不断增加,适用于一般民用和工业建筑工程、大体积水工混凝土工程、地下和水下混凝土构筑等方面。

除粉煤灰硅酸盐水泥外,还有以粉煤灰代替部分黏土制成的“粉煤灰烧成水泥”;以粉煤灰为主要原料,配加适量的石灰、石膏磨细制成的“粉煤灰无熟料水泥”;以粉煤灰为主,配少量的水泥熟料和石膏制成的“粉煤灰少熟料水泥”。

(2)粉煤灰混凝土

普通混凝土是以水泥熟料为胶结料,以沙、石为骨料,加水拌和而成的构筑材料,粉煤灰混凝土是以粉煤灰代替部分水泥熟料拌和而成的混凝土。粉煤灰混凝土能有效改善普通混凝土的性能。

首先,粉煤灰混凝土能减少水化热。水泥熟料中铝酸三钙和硅酸三钙等水化时放出大量的热量,使混凝土温度升高,从而产生体积膨胀,引起混凝土裂纹。掺入水化热较低的粉煤灰后,能有效地降低混凝土的水化热,保证大坝等水工工程的整体性。我国曾在刘家峡等大型水利大坝工程中采用了粉煤灰混凝土,收到了良好的效果。

其次,改善了和易性。混凝土的和易性是指混凝土拌和物在拌和、运输、浇注、振捣等过程中保证质地均匀、各组分不离析并适于施工工艺要求的综合性能。粉煤灰掺入后,能均匀分散于水泥、沙、石之间,有效减少吸水性,增加混凝土中胶凝物质含量和浆骨比。掺入 20 % ～30 % 粉煤灰的混凝土流动性好,利于泵送,节约振捣,便于施工。

再者,粉煤灰混凝土可以减少干缩率,提高抗渗性和强度。粉煤灰水化热低,其制成的混凝土水化热得到降低,从而减少干缩率,提高抗拉、抗裂强度;粉煤灰能改善混凝土的抗渗与防蚀性能。在大型水工工程中,粉煤灰混凝土具有良好的抗渗和抗侵蚀能力,但其抗冻性差,需要加入少量添加剂加以改善。粉煤灰混凝土后

期强度高,经养护半年后,含 20 % ～30 % 粉煤灰的混凝土强度高于普通混凝土。

(3)粉煤灰砖

粉煤灰的基本组成与黏土相似,可以替代黏土制备粉煤灰烧结砖。该生产技术成熟,节约能源,成本低廉,所需技术设备与普通黏土砖相同,且砖的质量较好。粉煤灰烧结砖的一般配比为粉煤灰 30 % ～80 %、煤矸石 10 % ～30 %、黏土 20 % ～50 %、硼沙 1 % ～5 %,可制成 75～150 号烧结砖。目前我国已有 50 多条粉煤灰烧结砖生产线,年产砖近 50 亿块。

以粉煤灰为主要原料,掺入适量骨料、生石灰及少量石膏,经碾练、成型、蒸汽养护而成粉煤灰蒸养砖。粉煤灰的掺量在 65 % 左右,制品一般可达 100～150 号,强度在 75～150 kg/ cm^2,能经受 15～25 次冻融循环,其容重比普通黏土砖轻 20 %,导热系数低 30 %,但抗折性差。蒸气养护方式有常压和高压养护两种,常压蒸气养护表压为零,温度为 90～100℃,高压蒸气养护表压为 8. 1×10^5 ～15. 2×10^5 Pa,温度为 170～200℃,高压蒸气养护需配置高压釜,投资较大,成本较高,目前国内大多为常压蒸气养护。但高压蒸气养护砖的强度、收缩性、抗干湿循环、抗冻性等都好于常压蒸养砖。

以粉煤灰拌以生石灰、骨料(炉渣、钢渣等)及少量激发剂而制成粉煤灰免烧免蒸砖。其配比为 40 % ～80 % 的粉煤灰、10 % ～40 % 的惰性骨料、6 % ～20 % 水硬性胶凝材料搅匀、加压成型、自然养护而成。其中钢渣粉煤灰免烧免蒸砖是利用钢渣中的水硬性物质和粉煤灰中的活性物质,通过激发剂和水化介质发生化学反应而制成。其配比为 40 % ～45 % 粉煤灰、30 % ～35 % 钢渣、15 % ～25 % 填料、4 % ～5 % 石膏,成品质量可达 100～150 号。

除此之外,利用粉煤灰可生产粉煤灰空心砖、粉煤灰微孔夹心砖等。

(4)粉煤灰其他建材利用

粉煤灰在建材上的使用除了以上的三大类外,还可制备粉煤灰硅酸盐砌块,它是以粉煤灰为原料,掺入少量石灰、石膏及骨料,经蒸气养护而成的新型墙体材料,具有轻质、高强、空心和块大等特性。与普通砖相比具有工效高、投资省等优点。但要求其中三氧化二铝、二氧化硅含量高,细度好,含碳量低;同时,要求胶结材料中有效氧化钙含量为 15 % ～20 %,石膏掺入量占胶凝材料的 2 % ～5 %,骨料粒径≤40 mm,具体要求见粉煤灰硅酸盐砌块建材标准(JC238-18)。粉煤灰硅酸盐砌块分普通粉煤灰硅酸盐砌块和泡沫粉煤灰硅酸盐砌块两种。前者是以粉煤灰、石灰、石膏为胶凝材料,以炉渣、碎石为骨料,经加水搅拌、成型、养护而成;后者是由粉煤灰、石灰、石膏、煤渣、松香皂泡沫剂和水搅拌而成型,并在 100℃、8. 1×10^5 Pa 条件下湿热蒸养而成。由于泡沫剂作用,砌块内部形成许多小孔,因而容重轻,抗压强度适中、并具吸声、保温性能,是一种改善建筑功能的新型轻质墙体材料。

粉煤灰加气混凝土也是近年开发的新型墙体材料,它是以粉煤灰为原料,适量

加入生石灰、水泥、石膏和铝粉(发泡剂),加水搅拌成浆,注入模具蒸养而成。其配比为粉煤灰 63%～68%,生石灰 10%～18%,石膏 10%,水泥 17%～27%。制成品容重轻(650～700kg/cm^3)、保温性好。

另外,粉煤灰可以代替沙石、水泥作大型建筑混凝土的拌和料。由于粉煤灰能降低水化热、改善易和性和提高防渗性,利于远距离泵输且后期强度高,被广泛用于水工工程和大型建筑工程。我国三门峡、刘家峡、亭下水库等水工工程,秦山核电站、北京亚运村工程等,国内其他的一些大的地下、水上及隧道工程等,均大量掺用了粉煤灰,一般掺加量为 25%～40%,不仅节约了大量的水泥,且提高了工程质量。粉煤灰还可以代替沙石、黏土用于高等级公路路基、修筑堤坝,也可以作路面材料。

3. 冶金工业固体废弃物的建材利用

(1)高炉渣的建材利用

高炉渣是冶金工业中数量最多的一种渣,它来源于高炉炼铁,年排放量大约为 3000 万吨。高炉渣的产生量与矿石品位的高低、焦炭中的灰分及石灰石、白云石等有关,也和冶炼工艺有关,通常炼 1 吨生铁产渣 300～900kg。

高炉渣的主要化学组分是 Ca、Mg、Al、Si、Mn 等的氧化物,约占高炉渣总质量的 95%,少数渣中含有 TiO_2、V_2O_5等,其中 SiO_2、Al_2O_3和 MnO 主要来自矿石中的脉石,CaO 和 MgO 主要来自助熔剂。由于矿石品位及冶炼生铁的种类不同,高炉渣的化学组分变化较大。一般普通渣中 CaO 的含量 38%～49%,SiO_2含量 26%～42%,Al_2O_3含量 6%～17%,MnO 含量 0.1%～1%,MgO 含量 1%～13%;高钛渣中 CaO 的含量 23%～46%,SiO_2含量 20%～35%,Al_2O_3含量 9%～15%,MnO 含量≤1%,MgO 含量 2%～10%;锰铁渣中 CaO 的含量 28%～47%,SiO_2含量 20%～37%,Al_2O_3含量 11%～24%,MnO 含量 5%～23%,MgO 含量 2%～8%。

高炉渣的物理化学性能根据把液态熔渣处理成固态渣的方法不同而各异。常用的熔渣处理方法有水淬法(也叫急冷法)、半急冷法和热泼法(也叫慢冷法)三种,其对应的成品渣分别为水淬渣、膨胀渣和重矿渣。

水淬渣作建材

水淬渣是高炉渣在大量冷却水的作用下急冷形成的海绵状浮石类物质,在急冷过程中,熔渣的绝大部分化合物来不及形成稳定化合物,而以玻璃体状态将热能转化为化学能封存其内,从而构成了潜在的化学活性。这种潜在的化学活性在激发剂的作用下,与水化合可生成具有水硬性的胶凝材料,是生产水泥的优质原料,因而广泛地应用于生产水泥和混凝土。

①矿渣硅酸盐水泥。矿渣硅酸盐水泥是我国水泥产量最多的水泥品种。它是由硅酸盐水泥熟料和水淬渣加适量的石膏(3%～5%)混合磨细制成的水硬性胶凝

材料。其水淬渣掺量视所生产的水泥标号而定,一般为 20 % ～70 % 。目前,我国大多数水泥厂采用 50 % 的水淬渣生产 400 号以上的矿渣硅酸盐水泥。矿渣硅酸盐水泥具有良好的安定性和较低的水化热,其在硫酸盐介质中的稳定性优于普通硅酸盐水泥,故宜在大体积构筑物和抗硫酸盐侵蚀的工程中应用。由于该水泥吃渣量大,因而被广泛采用。

②石膏矿渣水泥。石膏矿渣水泥是由 80 % 左右的水淬渣,加 15 % 左右的石膏和少量硅酸盐水泥熟料或石灰混合磨细制成的水硬性胶凝材料,也称矿渣硫酸盐水泥。它具有较好的抗硫酸盐侵蚀性质,但早期强度低,易风化起沙。

③钢渣矿渣水泥。钢渣矿渣水泥是由 45 % 左右的水淬渣,加入 40 % 左右的高炉渣及适量石膏磨细而成。为改善性能,也可适当加入少量的硅酸盐水泥熟料。该水泥以钢渣为主要原料,投资少,成本低,但早期强度偏低。

④矿渣混凝土。矿渣混凝土是以水淬渣为原料,配入激发剂(水泥熟料,石灰,石膏),放入轮碾机中加水碾磨与骨料拌和而成。矿渣混凝土的各种性能与普通混凝土相似,由于其具有良好的抗渗性和耐热性,可以用于水工工程做防水混凝土,也可用于 600℃以下的热工工程。我国于 1959 年推广采用矿渣混凝土,经过长期使用考验,大部分质量良好。

⑤其他应用。水淬渣还可以作水泥生产的原料、可以生产矿渣砖和作软地基材料。

由于水淬渣的化学组分与黏土相似,可代替黏土作水泥原料,由于水淬渣经过高温煅烧,当作为水泥原料再次煅烧时,不仅可以缩短煅烧时间,而且可以节约燃料和土地,提高熟料的质量。

用 85 % ～90 % 的水淬渣,添加 10 % ～15 % 的磨细生石灰,可以生产矿渣砖。

利用水淬渣加少量石灰加固处理软地基非常有效,实践证明,此技术合理,安全可靠,施工方便,价格低廉,在我国使用较为普遍。

膨胀渣(膨珠)作轻骨料

膨胀渣也叫膨珠,它是在适量水冲击和成珠设备的配合作用下,被甩到空气中使水蒸发并在内部形成空间,再经空气冷却形成珠状矿渣。膨珠大多成球形,粒径与生产工艺和生产设备密切相关。膨珠表面有釉化玻璃质光泽,珠内有微孔,孔径大的 350～400μm,小的 80～100μm。膨珠呈现由灰白到黑的颜色,颜色越浅,玻璃体含量越高,灰白色膨珠,玻璃体含量高达 95 % 。

膨珠除孔洞外,其他部分是玻璃体,松散容重大于陶粒和浮石等轻骨料,强度随容重增加而增大,自然级配的膨珠强度均在 3.5 MPa 以上。由于膨珠系半急冷作用形成,珠内存有气体和化学能,其除了具有水淬渣相同的化学活性外,还具有隔热、保温、质轻、吸水率低、抗压强度和弹性模量高等优点,因而是一种很好的建筑用轻骨料和生产水泥的原料,也可作为防火隔热材料使用。

近年来发展起来的新型膨珠生产工艺制取的膨珠质轻、面光、自然级配好,吸声、隔热性能好,可以制作内墙板、楼板等,也可用于承重结构。用作混凝土骨料可节约 20% 左右的水泥,采用膨珠配制的轻质混凝土的容重为 1400～2000kg/ m^3,较普通混凝土轻 25% 左右,抗压强度为 9.8～29.4 MPa,导热系数为 0.407～0.528 W/(m·K),具有良好的物理力学性质。膨珠作轻质混凝土在国内外被广泛应用。

重矿渣作骨料和道渣

重矿渣是高温熔渣在空气中自然冷却或淋少量水慢速冷却而形成的致密块渣。重矿渣的矿物成分不同于水淬渣,其主要成分是黄长石,其次是假硅钙石、硅酸二钙、辉石,并含有少量玻璃体和硫化物。重矿渣的物理性质与天然碎石相近,其容重大多在 1900kg/ m^3以上,其抗压强度、稳定性、耐磨性、抗冻性、抗冲击性均符合工程要求,可以代替碎石用于各种建筑工程中。安定性好的重矿渣经破碎、分级,可以代替碎石作骨料和道渣。

①作骨料配制混凝土。重矿渣碎石混凝土与普通碎石混凝土的物理力学性质相当,并具有良好的保温隔热和耐热抗渗性能。目前,重矿渣碎石混凝土已广泛地用到 500 号及 500 号以下的混凝土、钢筋混凝土和预应力混凝土中,并在防水、抗渗、抗振、耐热等特殊工程中广泛采用。

②重矿渣作道渣。重矿渣碎石用于公路、铁路、机场跑道建设,成为重矿渣利用的主要途径之一。矿渣碎石具有缓慢的水硬性,宜于修筑公路,矿渣碎石含有许多小孔,对光线的慢反射性能好,摩擦系数又大,用它做集料铺成的沥青路面明亮,制动距离又短,从安全性看是很理想的材料。矿渣碎石比普通碎石具有更高的耐热性能,更适用于机场跑道建设。重矿渣具有良好的坚固性、抗冲击性及抗冻性,用它做铁路道渣,除了具有一般天然碎石的作用外,还能适当吸收行车时产生的振动和噪声,承受重复荷载的能力强。目前,我国各大钢铁公司几乎都使用重矿渣作铁路道渣,并在国家一级铁路干线(哈大铁路)上采用,使用情况良好。

高炉渣的其他建材应用

以高炉渣为主要原料,加入白云石、玄武岩等成分及燃料一起加热熔化后,采用高速离心法或喷吹法制成矿渣棉,它是一种棉丝状矿物纤维,具有质轻、保温、隔声、隔热、防振等性能,可以加工成各种板、毡、管壳等制品。还可以利用高钛矿渣的特殊性能作高炉的护炉材料。

(2)钢渣的建材利用

钢渣是炼钢过程中排出的熔渣,钢渣在冶金工业渣中仅次于高炉渣。炼钢的基本原理与炼铁相反,它是利用空气或氧气去氧化炉料(主要是生铁)中所含的碳、硅、锰、磷等元素,并在高温下与熔剂(主要是石灰石)起反应,形成熔渣。

钢渣以炼钢方式的不同分为转炉钢渣、平炉钢渣和电炉钢渣。按不同生产阶

段,平炉钢渣又分为初期渣和末期渣;电炉钢渣又分为氧化渣和还原渣;按钢渣性质又分为碱性渣和酸性渣。

转炉吹氧炼钢是现代炼钢的主要方法,目前我国的转炉炼钢比例以达 60% 以上,转炉钢渣约占钢渣总量的 70%,以目前水平,每生产 1t 转炉钢约产生 130～240kg 的钢渣。平炉在国外已基本淘汰,我国已不再建平炉,并将逐步淘汰现有平炉。平炉炼钢周期长,分氧化期、精炼期和出钢期,并且每期都出渣,目前每生产 1t 平炉钢约产钢渣 170～210kg,其中初期渣占 60%、精炼渣 10%、出钢渣 30%。电炉炼钢是以废钢为原料,主要生产特殊钢,电炉生产周期也较长,分氧化期和还原期分期出渣,目前每生产 1t 电炉钢约产 150～200kg 钢渣,其中氧化渣占 55% 左右。

钢渣的主要化学组分是 CaO、SiO_2、Al_2O_3、FeO、Fe_2O_3、MgO、P_2O_5、MnO、f(CaO)等,有的还含有 V_2O_5、TiO_2。其中 CaO、SiO_2、Fe_2O_3的含量较高。钢渣的特点是铁的氧化物以 FeO 为主,总量在 25% 左右。

钢渣制水泥

①钢渣矿渣水泥。高碱度钢渣含有大量的 C_3S、C_2S 等活性物质,有很好的水硬性。把它与一定量的高炉水淬渣、石膏、水泥熟料及少量激发剂配合磨细,即可生产钢渣矿渣水泥,根据《钢渣矿渣水泥》(GBn164-85)国家标准,钢渣的最小掺入量不得少于 35%,水泥熟料不得超过 20%,此外,钢渣碱度(CaO/ SiO_2 + P_2O_5)不应低于 1.8,金属铁含量不超过 1%,f(CaO)含量不超过 5%。

目前,我国生产的钢渣矿渣水泥有两种,一种是以石膏为激发剂,其质量配比为:钢渣 40%～45%、高炉水渣 40%～45%、石膏 8%～12%,标号达 275～325,此种水泥也叫无熟料钢渣水泥,其早期强度低,仅用于砌筑沙浆、墙体材料和农田水利工程等。另一种是以水泥熟料作激发剂,其配合比为:钢渣 35%～45%、高炉水渣 35%～45%、水泥熟料 10%～15%、石膏 3%～5%,标号在 325 号以上。

钢渣水泥具有水化热低、后期强度高、抗腐蚀、耐磨等特点,是理想的大坝水泥和道路水泥。

②钢渣白水泥。电炉还原渣除含有大量的 C_3S、C_2S 外,并具有很高的白度,与煅烧石膏和少量的外加剂混合、研磨,即可生产 325 号白水泥。其配比为还原渣 80%、石膏 20%,外加剂掺量一般控制在 0.2%～0.5%。利用电炉还原渣制备白水泥,投资少、能耗低、效益高、见效快,是钢渣利用的有效途径之一。

筑路与回填工程材料

钢渣碎石具有容重大、强度高、表面粗糙、稳定性好、耐磨与耐久性好、与沥青结合牢固,因而广泛用于铁路、公路和工程回填。由于钢渣具有活性,能板结成大块,特别适于沼泽、海滩筑路造地。钢渣作公路碎石,用材量大并具有良好的渗水与排水性能,其用于沥青混凝土路面,耐磨防滑。钢渣作铁路道渣,除了前述优点

外,还具有导电性小,不干扰铁路系统的电讯工作等优点。

钢渣替代碎石存在体积膨胀这一技术问题,国外一般是将其洒水堆放半年后使用,以防钢渣体积膨胀,碎裂粉化。钢渣作工程材料的基本要求是:钢渣必须陈化,粉化率不能高于 5%,要有合适的级配,最大块直径不能超过 300mm,最好与适量粉煤灰、炉渣或黏土混合使用,严禁将钢渣碎石作混凝土的骨料使用。

11.5.5　固体废弃物的农业利用(Utilization of Solid Wastes to Agriculture)

固体废弃物的农业利用是固体废弃物资源化的有效途径之一,固体废弃物在农业上的利用主要在制作肥料、饲料和改良土壤等方面。

1. 固体废弃物堆肥化

堆肥化技术强调,堆肥原料来自生物界,堆制过程需在人工控制下进行。在固体废弃物中部分工业固体废弃物、城市固体废弃物(城市垃圾)和农业固体废弃物都可以堆肥化。其中,人畜粪便和有机污泥可直接堆制;城市垃圾中有许多不可堆腐的物质,需经过预处理适当排除后堆制;农业固体废弃物中,因纤维素、半纤维素、果胶、木质素等较难生物降解,也需作适当预处理后才能堆制。

经堆肥化(composting)处理,制得的成品堆肥(compost)是富含腐殖质的疏松物质,也称腐殖土,经堆肥化处理后,堆肥的体积只有原体积的 50%～70%。

堆肥化技术有好氧堆肥和厌氧堆肥两大类。

现代化堆肥工艺(特别是城市垃圾)大都采用好氧堆肥。好氧堆肥一般控制系统温度为 50～65℃,最高可达 80～90℃。由于温度高,反应快,故堆制周期短,也称高温快速堆肥。图 11.5 是城市生活垃圾典型的堆肥工艺流程图。

图 11.5　城市生活垃圾堆肥工艺流程图

好氧堆肥依据系统温度变化,可分为三个阶段:

①中温阶段。堆制初期,堆层呈中温(15～45℃),此时嗜温性微生物活跃,利于可溶性糖类、淀粉等的降解,在转换和利用化学能过程中,产生的能量超过合成细胞所需能量,加上物料的保温作用,使温度不断升高,微生物以真菌、细菌及放线菌为主。

②高温阶段。堆层温度达 45℃,便进入高温阶段。一般堆制不到一周时间,堆层温度可达 65～70℃或更高。此时,嗜温性微生物受到抑制,甚至死亡,而嗜热性微生物大量生长,在 50℃左右活动的嗜热性微生物主要是嗜热性真菌和放线菌,60℃时仅有放线菌和细菌,温度达 70℃以上微生物大量死亡或进入休眠状态。

③降温阶段。在内源呼吸期,微生物活性下降,发热量减少,温度下降,嗜温性微生物再占优势,使残留的难降解有机物进一步分解,腐殖质不断增多且稳定,堆肥进入腐熟阶段。

现行的堆肥工艺主要有间隙式和连续式发酵工艺两种。其中,间隙式发酵工艺是将原料分批堆放,待发酵成腐殖土运出,一般采用二次发酵的方式,第一次发酵采用机械强制通风,发酵期为 10 天左右,60℃高温保持 5 天以上;然后将第一次发酵堆肥通过机械分选,去除非堆腐物送到二次发酵仓,进行二次发酵,一般 10 天左右即达腐熟。连续式发酵工艺是连续进料和连续出料,原料在发酵装置内完成中温和高温发酵过程,这种系统具有发酵时间短,能杀灭病原体微生物,堆肥产品质量高的特点,在发达国家如美国、日本和欧洲等广泛使用。

影响好氧发酵的主要因素有:

①有机物含量。堆肥物料适宜的有机物含量为 20％～80％,如有机物含量过低,则不能提供足够的热量,影响嗜热菌繁殖,难以维持高温发酵过程;有机物含量如大于 80％,则堆制过程要求大量供氧,在实践中经常因供氧不足而部分厌氧过程发生。

②含水率。微生物生长对含水率的要求为 50％～60％,一般以 55％为最佳,如低于此值,可添加稀粪便或污水污泥等进行调节,一般用于堆肥的固体废弃物含水率均低于 55％。

③通风和耗氧速率。微生物耗氧速率一般在发酵反应的 60～80h 达到峰值,在 200 小时进入稳定阶段,有关研究指出,堆肥过程适宜的氧浓度为 14％～17％,最低不小于 10％。常用的供氧方式有:翻堆通风,风机供风和插入风管通风等。

④碳氮比。用于堆肥的原料的碳氮比要求在 35∶1～26∶1 之间,以 30∶1 为最佳,但一般不能满足要求,应适当加入氮肥、粪便或污水等加以调节。

⑤温度。整个堆制过程的最佳温度为 35～55℃。

良好的堆肥,具有改土、培肥,促进农作物生长和增加农作物产量的效用。具体有以下几种效用:

①改良土壤。首先,堆肥能增加土壤的有机质。由于土壤微生物的作用,土壤中有机质含量不断减少,需补充大量的有机质。如大量使用化肥,使土壤的有机质下降,土壤肥力下降,堆肥的使用能使土壤的有机质得到补充;同时,堆肥的使用,能明显降低土壤容重,增加土壤空隙率,使土壤的固相下降,液相和气相部分增加。所以,堆肥的施用可以促进土壤通风,提高保水能力和保肥能力,促进植物根系的增长,使作物不易受虫害。

②增产作用。国内外的许多研究表明,施用堆肥只要得当,都有增产作用。

③堆肥施用的不利因素。由于堆肥中 N、P、K 等混合含量一般不高,不能将其等同于传统的农家肥,只能将其作为“土壤改良剂”或“土壤调节剂”对待。同时大量施用堆肥,可能导致土壤中有害成分的富集。

堆肥由于设备投资大,成本偏高,竞争力不敌化肥,但由于堆肥在解决固体废弃物出路方面的优势,只要在政府的适当政策扶持下,仍大有可为。

2　粉煤灰的农业利用

粉煤灰的农业利用是粉煤灰资源化的一个重要方面。它主要用于改良土壤和制备化肥。

(1)粉煤灰的改土和增产作用

作物生长的土壤需有一定的孔隙度,适合植物根部正常呼吸作用的孔隙度下限为 12 %～15 %,粉煤灰中的硅酸盐矿物和炭粒具有多孔性,施入土壤后,除其粒子间及粒子内的空隙外,还同土壤粒子组成无数的空隙,为植物根系吸收提供新的途径,构成输送营养物质的交通网络;同时,粉煤灰内部的空隙作为气体、水分和营养物质的“储存库”。粉煤灰施入土壤后,能进一步改善土壤的毛细管作用和溶液在土壤内的情况,调节土壤的含湿量,有利于植物根系加速对营养物质的吸收和分泌物的排出,促进植物生长。

施用粉煤灰能改善土壤的机械组成,如黏质土壤掺入粉煤灰可变得疏松,黏粒减少,沙砾增加;盐碱土掺入粉煤灰,除变得疏松外,还可起到抑碱作用。

粉煤灰所具有的灰黑色有利于其吸收热量,施入土壤一般可使土壤的温度提高 1～2℃,土层温度的提高,有利于微生物活动、养分转化和种子发芽。

许多试验和生产实践表明,施入粉煤灰都有一定的增产作用,其中黏土地增产最明显,生荒地施用增产作用也较明显,但沙质土增产不明显(可能与沙土的结构有关)。同时,施用粉煤灰对不同的作物增产效果不一样,蔬菜类增产效果最明显,粮食作物类增产也较明显;其他经济作物也有一定的增产效果,但不十分明显,且不十分稳定。

(2)粉煤灰化肥

目前,用粉煤灰制备的化肥品种较多,主要有粉煤灰硅钾肥、粉煤灰硅钙钾肥、

粉煤灰磷肥等。

①粉煤灰硅钾肥。以粉煤灰为硅源,配加一定比例的氢氧化钾,在 700～800℃煅烧,可制备粉煤灰硅钾肥,主要成分为 K_2SiO_3。

②粉煤灰硅钙钾肥。在粉煤灰中掺入一部分钾肥,可以生产出适于水稻生长的粉煤灰硅钙钾肥,此肥能明显地增强水稻的抗病、抗旱、抗倒伏性能,有利于提高稻谷品质,增产效果一般为 10% 左右。

③粉煤灰磷肥。在粉煤灰中掺入一定比例的磷灰石粉,经过高温煅烧和急冷处理,经粉碎可制得粉煤灰磷肥。此肥料在主要营养成分为 $Ca_4P_2O_9$,同时含有植物生长所需的微量元素,对作物、蔬菜、食用菌等都有一定的增产效果。

3. 钢渣的农业利用

钢渣含有 Ca、Mg、Si、P 等元素,并且 Si、P 氧化物的枸溶性高,可根据不同性质的钢渣作不同的用途,主要作钢渣肥料和酸性土壤的改良剂。

(1)作钢渣磷肥

磷的枸溶性是通过枸溶率即有效 P_2O_5 与全 P_2O_5 的百分比来表示的。钢渣磷肥的枸溶率与其化学成分密切相关,当钢渣中含 F≥1% 时,枸溶率仅 10%～20%,为获得较高的枸溶率,要求钢渣中 F 含量在 0.5% 以下。CaO、SiO_2 的含量也有较大影响,当 CaO/SiO_2 质量比大于 1.87 时,枸溶率在 90% 以上,当 $CaO/SiO_2 \geq 0.315$ 时,枸溶率一般可达 85% 以上。为保证较高的枸溶性,钢渣中要有足够的 CaO 和适量的 SiO_2,通常要求初期渣的碱度保持在 1.4 以上。

当钢渣中 P_2O_5 超过 4% 时,可以磨细作为低磷肥使用,相当于等效磷的效果。生产实践表明,钢渣磷肥可以用于酸性土壤与缺磷碱性土壤,也适于水田与旱地耕作,具有很好的增产效果。

(2)作硅肥

硅是水稻生长需求量大的元素,含 $SiO_2 > 15\%$ 的钢渣磨细至 60 目以下,即可作硅肥,用于水稻生产,一般每亩用 100kg,增产 10% 左右。

(3)作酸性土壤改良剂

CaO、MgO 含量高的钢渣磨细后,可作为酸性土壤的改良剂,并且利用了钢渣中的 P 和各种微量元素,其用于农业生产,可增强农作物的抗病虫害的能力。

实践证明,钢渣磷肥不仅在酸性土壤上施用效果好,在缺磷的碱性土壤施用也可获增产;不仅水田施用效果好,在旱地也有一定肥效。对于我国许多地区的缺磷土壤和酸性土壤来说,充分合理地利用钢渣资源,具有十分重要的意义。

第六节　固体废弃物的处理处置方法
(Methods of Treatment of Solid Wastes)

11.6.1　固体废弃物处理方法(Methods of Treatment of Solid Wastes)

固体废弃物的处理是指将固体废弃物转变成适于运输、利用、存储或最终处置的过程。固体废弃物的处理方法主要有:物理处理;化学处理;生物处理;热处理;固化处理等。

1. 物理处理

物理处理是指通过浓缩或相变化来改变固体废弃物的结构,使之成为便于运输、储存、利用或处置的形态。物理处理方法主要包括压实、破碎、分选、增稠等,物理处理方法也是资源化的重要手段。

压实也称压缩,是利用机械的方法增加固体废弃物的聚积程度,增大容重或减少体积,便于装卸、运输、储存和填埋。适合压实处理的主要是压缩性能大而还原性小的物质,如金属加工出来的金属丝,废旧家电、家具、废纸、纤维等。结构密实的如木头、玻璃、金属、塑料等,以及污泥等半固体不适宜做压实处理。

破碎系利用外力将大块的固体废弃物分裂成小块的过程。破碎的主要目的是为固体废弃物的分选提供所需的入选精度,以便有效地回收废物中的某些组分;其次使固体废弃物的比表面增加,提高焚烧、热解等操作的稳定性和热效率。再就是为固体废弃物的进一步利用做准备,如煤矸石的三氧化二铝的提取,制砖、制水泥等;同时可防止粗大、锋利的固体废弃物损坏分选、焚烧、热解等设备或炉膛。

破碎主要由机械破碎和非机械破碎两大类。前者利用机械工具对固体废弃物进行破碎,如锤子、器板、球磨机等,后者是利用电能、热能、水能等非机械力的一般方法对固体破碎的方法,如低温破碎、热力破碎、超声波破碎、高压水破碎。常用的主要有低温破碎,一般用液氮作制冷剂,适用的对象是常温下难破碎的废物,如橡胶和塑料,如聚氯乙烯的脆化点为 -5～-20℃,聚乙烯为 -95～-135℃,聚丙烯为 0～-20℃,将塑料降温到它的脆化点以下,就很容易冲击式破碎,所需的动力比常温破碎减少许多。从废轮胎、废旧电缆中回收铜等金属,可采用低温破碎的方法,有较高的使用价值。

还有一种湿式破碎的方法,即将固体废弃物加入大量的水,一起剧烈搅拌,破碎成浆液的过程。如含有大量废纸的生活垃圾,经湿式破碎回收废纸纤维。

分选是根据固体废弃物的粒度、密度、磁性、导电性、光电性、摩擦性、弹性以及表面湿润性等不同特性而进行分离的一种操作方法,可分为筛选、重力分选、磁力分选、电力分选、光电分选、摩擦及弹性分选、浮选等。

筛选(分)是利用筛子的不同孔径,将粗细物料分离的过程,如煤矸石回收 Al_2O_3,一般先经破碎、再筛分,粗颗粒应该继续破碎。筛选经常使用的设备有固定筛、格筛、滚筒筛、惯性振动筛、共振筛等。

重力分选是根据固体废弃物中不同物质颗粒间的密度差异,在运动介质中受到重力、介质动力和机械力的综合作用,使颗粒产生扩散分层和迁移分层分离,从而得到不同密度产品的分选过程。按照介质的不同,重力分选可分为水力分选、风力分选和摇床分选等。

水力分选是用水作介质进行的分选,其中又分成重介质分选和跳汰分选两种。重介质分选就是利用密度大于水的介质进行分选。一般是在水中加入高密度的固体颗粒,组成固液两相分散体系。它的密度高于水,是非均匀介质。常用的高密度固体颗粒(称为重质)有磁铁矿和硅矿。一般要求加入的重质具有高密度、低黏度、化学性能稳定、无毒、无腐蚀性、易回收等。加重质的粒度一般小于 200 目。

跳汰分选是在垂直高速的水力作用下,使固体废物按密度分选的一种方法。跳汰分选固体废弃物的过程如图 11.6 所示。跳汰分选时,将固体废物放入跳汰机的筛板上,形成密集的物料层,从筛板的下面周期性的给入脉冲水流,使物料层松散并按密度分层,上层的轻物料被水平水流带到机外,成为轻产物,下层的重料一部分透过筛板成为筛下重物,还有部分筛上重物,随着固体物料的不断给入和轻、重物料的不断排出,可形成连续的分选过程。

图 11.6 隔膜跳汰机分选示意图

1. 偏心机构; 2. 隔板; 3. 筛板; 4. 外套筒; 5. 锥形阀; 6. 内套筒

风力分选,也称气流分选,是以空气为分选介质,在气流的作用下,使固体废弃物按密度和颗粒粒度进行分选的一种方法。

按气流吹入分选设备内的方向不同,分选设备可分为两种类型:水平气流分选和上升气流分选。

摇床分选是在一个倾斜的床面上,借助床面的不对称往复运动和薄层斜面水流的综合作用,使细粒固体按密度差异在床面上呈扇形分布而进行分选的一种方法。当颗粒给入往复摇动的床面时,物料群在重力(由于床面是倾斜的)、水

流冲力(水流方向横向布水)、床层摇动产生的惯性力以及摩擦力等综合作用下,不同密度的颗粒以不同的速度在床面上纵向和横向运动,因此,他们的合速度偏离摇动方向的角度不同,致使不同密度颗粒在床面上呈扇形分布,达到分选的目的。摇床分选目前主要用于从煤矸石中回收硫铁矿,它是一种分选精度很高的单元操作。

磁力分选是利用固体废弃物中各种物质的磁性差异,在不均匀的磁场中进行分选的一种处理方法。

磁选过程(图 11.7)是将固体颗粒物给入磁选机后,颗粒物在通过磁选机的磁场时,同时受到磁力和机械力(包括重力,离心力,阻力,摩擦力等)的作用,磁性强的受到的磁力大于所受的机械力,而非磁性颗粒所受到的磁力很小,以受到的机械力为主。由于作用在各种颗粒的磁力和机械力的合力不同,使它们的运动轨迹不同,从而达到分离的目的。

图 11.7　颗粒在磁选机中分离示意图

物质按磁化系数的大小分成三类:强磁化物质,可以在弱磁场磁选机中分离出来;弱磁场物质,可以在强磁场磁选机中分离出来;非磁性物质。

电力分选是利用固体废弃物中各种组分在高压电场中电性的差异而实现分选的一种处理方法。电选设备的电场使电晕-静电复合电场,废物由给料头均匀地给入滚筒上,随着滚筒的旋转,废物颗粒首先进入电晕电场区,由于空间有电荷,使导体和非导体颗粒都带电(负电,与电晕电极电性相通)。导体颗粒由于放电快,当固体废弃物颗粒旋转至静电场区时,导体的剩余电荷少。而非导体由于放电慢,致使剩余电荷较多,进入静电场区后,导体不再获得负电,不断放电,直至完全放完负电,从带正电的滚筒上排斥而脱落。非导体由于带有较多的负电荷,与滚筒的正电荷相吸,带到滚筒的后方,被毛刷强制刷下;半导体颗粒的运动轨迹介于导体和非导体之间,成为半导体产品落下,从而完成电选分离过程。固体废弃物颗粒在复合电场电选设备中分离过程如图 11.8 所示。

图 11.8　电选设备中颗粒物分离过程示意图
1. 给料斗; 2. 辊筒电极; 3. 电晕电极; 4. 偏向电极; 5. 高压绝缘子; 6. 毛刷

浮选是固体废弃物与水调制的料浆中,加入浮选药剂,并通入空气形成无数细小气泡,使欲选物质颗粒黏附在气泡上,随气泡上浮于表面,刮出回收。不浮的颗粒物仍留在料浆中,经适当的处理后废弃。

固体废弃物中有些物质表面的疏水性较强,容易黏附在气泡上,而另一些物质表面亲水,不易黏附在气泡上。物质表面的亲水、疏水性能,可以通过浮选剂的作用而加强,因此,在浮选工艺中,正确选择、使用浮选剂是调整物质可浮选的主要外部条件。

浮选是固体废弃物资源化的一种主要技术,目前已广泛应用于粉煤灰中回收碳、煤矸石中回收硫铁矿、炉渣中回收金属等资源化过程中。

光电分选是利用光检系统,检测通过的颗粒物。当颜色与欲分离的颜色一致的颗粒通过时,不进行吹脱,当与欲收集的颜色不一致的颗粒物通过时,反射光经光电倍增管转换为电信号,电子电路分析该信号,产生控制信号驱动高频气阀,喷射出压缩空气,使其吹落,达到分离的目的。图 11.9 是光电分选过程示意图。通过光电分选,可以从城市垃圾中回收塑料、橡胶、金属、玻璃等。

图 11.9 光电分选过程示意图

2. 化学处理

化学处理是采用化学方法破坏固体废弃物中的有害成分,从而达到无害化,或将其转变成适于进一步处理、处置的形态。由于化学反应条件复杂,影响因素较多,故化学处理方法通常只用在所含成分单一或所含几种化学成分相似的固体废弃物处理方面,化学处理对于混合固体废弃物,一般达不到预期目的。化学处理方法包括氧化、还原、中和、沉淀等。

化学处理方法在固体废弃物的资源化方面也有重要的应用,如煤矸石中 Al_2O_3、Fe_2O_3 的提取,V_2O_5 的提取。化学工业废渣、冶金工业废渣资源化中,主要使用的是化学方法。有毒废渣的回收及解毒处理,主要也是使用化学方法。

3. 生物处理

生物处理是利用微生物分解固体废弃物中可降解有机物,从而达到无害化和资源化的目的。固体废弃物经过生物处理,在容积、形态、组成等方面,均发生重大的变化,因而便于运输、储存、利用和处置。生物处理方法包括好氧处理、厌氧处理和兼性厌氧处理等。

4. 热处理

热处理是通过高温破坏和改变固体废弃物组成及结构,同时达到减量化、无害化、资源化的目的。常用的方法有焚烧、热解、焙烧等。

5. 固化处理

固化处理是采用固化基材将废弃物固定或包裹起来,以降低其对环境的危害,因而较安全地运输和处置的一种方法。固化处理的对象主要是危险性固体废弃物和放射性固体废弃物。由于处理过程中,需加入较多的固化基材,因而固化体的体积比原废物的体积大。

固化所用的惰性材料称为固化剂,经固化处理后的固化产物称固化体。

固化技术首先是从处理放射性固体废弃物发展起来的。近年来,其技术有较大的发展。目前,固化技术已应用于处理多种有毒有害废物,如电镀废渣、砷渣、汞渣、氰渣、铬渣等。

对固化处理的基本要求包括:

①有毒废物经固化处理后所形成的固化体应具有良好的抗渗透性、抗浸出性、抗干湿性、抗冻融性及足够的机械强度,最好能作为资源加以利用,如作建筑材料和路基材料等。

②固化过程中材料和能量消耗要低,增容比要低。

③固化工艺过程简单,便于操作。

④固化剂来源丰富,价廉易得。

⑤处理费用低。

衡量固化处理效果的二项主要指标是固化体的浸出率和增容比。浸出率是指固化体浸入水或其他溶液时,其中的有毒物质的浸出速度。

固化技术可按固化剂分为水泥固化、沥青固化、塑料固化、玻璃固化和石灰固化等。

11.6.2　固体废弃物的处置方法(Methods of Disposal of Solid Wastes)

固体废弃物处置是指最终处置或安全处置,是固体废弃物污染控制的末端环节,解决固体废弃物的归宿问题。

固体废弃物经综合利用和处理,总还有部分残渣,这些残渣往往含有大量的有毒有害组分,长期保留在环境中,是一种潜在的污染源,且是危险性较大的污染源。为了控制其对环境的危害,必须进行最终处置,使之最大限度地与生物圈隔离。最终处置的总目标是确保废物中的有毒有害物质,无论现在还是将来都不至于对人类及生态环境造成不可接受的危害。处置的基本要求是废物的体积尽可能的小,

处置场地适宜,设施结构合理。

最终处置的基本方法是通过多重屏障(天然屏障和人工屏障)实现有害物质同生物圈的有效隔离。

天然屏障是利用自然界已有的地质构造和特殊地质环境所形成的屏障,也可以是各种圈层之间本身存在的对污染的阻滞作用。人工屏障是指隔离的界面由人为设置,如利用废物容器、废物预稳定化、人工防渗工程等。但在实际工作中,往往同时采用天然和人工屏障相结合来处置,以最大限度地实现有效隔离。

按照处置场所的不同,最终处置分为海洋处置和陆地处置两类。海洋处置又分为海洋倾倒和远洋焚烧,陆地处置又分为土地填埋、深井灌注、土地耕作处置等。

1. 海洋处置

海洋处置是利用海洋巨大的环境容量和自净能力,将固体废弃物消解在汪洋大海中。对于海洋处置,国际上尚有很大的争议,一种观点认为,海洋具有无限的容量,是处置多种固体废弃物的理想场所,处置场的海底越深,处置就越有效;而另一种观点认为,这种状态持续下去,会造成海洋污染,破坏海洋生态。

海洋处置分海洋倾倒和远洋焚烧二类。前者实际上是选择距离和深度适宜的处置场,将废物直接倒入海洋,后者是近年来发展起来的海洋处置方法,是用焚烧船在远海对废物进行焚烧破坏,冷凝液和残渣直接排入海中。

由于海洋处置与陆地处置相比,具有显著的优点。故像美国、日本及欧共体都进行过海洋处置。我国政府对海洋处置基本上持否定态度,为了严格控制利用海洋处置固体废弃物,制定了一系列有关海洋倾倒的管理条例,对保护海洋环境起到了积极的作用。

(1)海洋倾倒

将固体废弃物直接投入海洋的一种处理方法。由于海洋是一个庞大的废物接受体,对污染物又有极大的稀释能力,对容器盛装的有害废物,即使容器破坏,也会由于海洋的稀释和扩散作用,使污染物保持在容许水平之下。

由于海洋是国际资源,也是重要的食品来源。为了防止海洋污染,已经制定了许多国际海洋倾倒条约,如伦敦公约(世界范围,1975 年)、奥斯陆公约(东北大西洋,1974 年)、巴塞罗那公约(地中海,1978 年)、巴黎公约(东北大西洋及所属海域,1978 年)、赫尔辛基公约(波罗的海,1980 年)、加勒比公约(加勒比地区,1983 年)等。其中伦敦公约全称“防止倾倒废物和其他物质而污染海洋的国际公约”,已有 79 个国家和地区加入,国际海洋组织(IMO)是它的秘书处,每年在伦敦的 IMO 总部召开年会,参加国要遵守公约的规定,要以安全和负责的态度对待海洋处置。

海洋倾倒只限于那些经天然的、物理的、化学的、生物的过程而很快降解的废物。伦敦倾倒公约根据废物性质把废物分成三类:

①禁止倾倒的废物列入公约的黑名单(公约的附录Ⅰ)。如有机卤化物、汞及汞化物、镉及镉化物、废塑料及其他人造材料、原油及石油制品及残液、高放射性物质等。

②需要获得特别许可才能倾倒的废物。公约把它列入灰名单(附录Ⅱ)。如砷、铅、铜、锌及其化合物,有机硅化物、氰化物、氟化物等。

③获得普遍许可即可倾倒的废物。

对于Ⅰ、Ⅱ类中的有害废弃物,经固化处理后,经特许可以倾倒,注意固化后还要进行表面涂覆或用容器盛装。同时,装置废物的容器需要有明显的标志,如倾倒的是放射性废物,则应标出国名、单位名称、质量、照射量等。

(2)远洋焚烧

利用焚烧船在远海对固体废弃物进行焚烧的一种处置方法。比较适合于处置有机氯化物。焚烧后的 HCl 气体经吸收后可直接排放到大海。废渣也可直接排入大海,不会对海洋环境造成大的危害,但远洋焚烧是否对全球大气造成明显危险?是否会破坏生态平衡?因此许多国家对远洋焚烧持谨慎态度。美国国家环保局曾认为,与土地处置相比,远洋焚烧是一种可以接受的较好方法,但有关生态方面的问题尚需进一步研究,在有关远洋焚烧管理条例颁布之前,不准在海上进行任何类型的焚烧。

海洋是与全人类息息相关的一片净地,保护海洋是每个国家的职责。对固体废弃物进行海洋处置,必须严格按照国际公约实施,海洋处置对环境的影响有待进一步的研究。

2　陆地处置

陆地处置主要有土地填埋、深井灌注和土地耕作处置等,其中填埋处置是在陆地上选择合适的天然场所或人工改造出合适的场所,把固体废弃物用土层覆盖起来的技术;深井灌注是指将液状固体废弃物注入到地下与饮用水和矿脉层隔开的可渗透性的岩层中;土地耕作处置是指利用现有的耕作土地,将固体废弃物分散在其中,在耕作过程中由生物降解、植物吸收及风化作用等,使固体废弃物污染指数达到背景程度的处置方法。

(1)土地填埋

土地填埋是从传统的堆放和填地发展起来的一项最终处置技术,是对固体废弃物进行受控管理的一种科学方法。土地填埋不是单纯的堆、填、埋,而是一种综合性土地处置技术,在操作上,它已从堆、填、埋向包容、屏障隔离的工程储存方向发展。土地填埋首先必须科学选址,在设计规划的基础上对场地进行防护处理(防渗漏等),然后按严格的操作规程进行填埋操作和封场,要制定全面的管理制度,定期对场地进行维护和检测。

土地填埋处置具有工艺简单,成本低廉,适于处置各种类型废物的优点。目前已发展成主要的处置方法。

土地处置的种类很多,按处置废物的类型,主要有以下四类:

①一类一般工业废物填埋场。用于其浸出液中污染物浓度低于废水综合排放标准最高允许排放浓度,而且 pH 在 6～9 范围之内的工业固体废物。要求设置防止粉尘污染、防止雨水进入以及渗滤液排水设施。对封场和日常管理没有特殊要求。

②二类一般工业废物填埋场。用于其浸出液中污染物浓度高于废水综合排放标准最高允许排放浓度,而且 pH 在 6～9 范围之外的工业固体废物。要求设置防渗衬层,以及渗滤液处理设施、地下水污染监测井等设施,在封场时要求设置防渗覆土层,在日常维护中要求对地下水水质进行监测和防渗衬层的维护等。

③生活垃圾填埋场。用于城市固体废弃物(生活垃圾)的填埋处置。要求设置防渗衬层,以及渗滤液收集处理排放系统、填埋气体收集处理排放系统、雨水地下水控制系统,要求每日覆盖和最终封场系统,并且对渗滤液和填埋气体的排放提出了很高的限值要求。典型的城市生活垃圾卫生填埋处理工艺流程图及山谷型卫生填埋场效果见图 11.10 和图 11.11。

图 11.10 城市生活垃圾卫生填埋处理工艺流程图

④危险废物填埋场。用于危险性固体废弃物的填埋处置。这种填埋场在选址时就提出了很高的要求,要求地下水水位在不透水层下 3 m,并要求有足够厚度的基础防渗层;在设计时要求设置双层衬层,要求根据废物特性分区填埋,对封场和日常维护也提出了非常高的标准。

(2)深井灌注

深井灌注是处置危险性固体废弃物的安全处置方法。适于深井灌注的固体废弃物可以是液体,也可以是固体或气体,对固体或气体在灌注时必须将其溶解在液

图 11.11　山谷型卫生填埋场效果图

体中,形成真溶液、乳浊液或液固混合体。深井灌注主要用来处置那些实践证明难于破坏、难于转化、不能采用其他方法处理处置,或采用其他方法费用昂贵的固体废弃物。

深井灌注处置的关键是选择适于处置的地层,这种地层应满足以下条件:

①处置区必须位于地下饮用水源之下。

②有不透水层把注入废物的地层隔开,使废物不致流到有用的地下水源和矿藏中去。

③有足够的容量,面积较大,厚度适宜,空隙率高,饱和度适宜。

④有足够的渗透性,且压力低,能以较理想的速度和压力接受废液等。

深井灌注的费用与生物处理的费用相近,对某些工业废物来说,深井灌注可能是对环境影响最小的切实可行的方法。目前,美国每年大约有 3×10^7 t 液体废物采用深井灌注处置,其中大约 15 % 为有害固体废弃物,最大使用者是化学、石油化工和制药行业。它们拥有的井数占现有井数的 50 %,其次是炼油厂和天然气厂,金属公司占第三位。此外,食品制造业也有一定的比例,可见方法的广泛适应性。

(3)土地耕作处置

土地耕作处置是指利用现有的耕作土地,将固体废弃物分散在其中,在耕作过程中,经过生物降解、植物吸收、风化作用等使固体废弃物污染指数逐渐达到背景程度的方法。

土地耕作处置具有工艺简单、操作方便、投资少等特点。适合用该法处置的固体废弃物主要有城市垃圾、农业固体废弃物、工业固体废弃物中的一些矿渣、冶炼

渣、粉煤灰等,在处置这些固体废弃物的同时,还能起到改善土壤结构和提高土壤肥力的作用。

但对含有重金属和不可降解的其他有害组分的固体废弃物,采用土地耕作处置必须十分谨慎,特别是重金属即可以在土壤中积累,又可以进入生物体循环,其危害性相当大;含大量废塑料、废橡胶、废玻璃的固体废弃物利用土地耕作处置也必须谨慎。

参考文献

陈明义,李启家. 1991. 固体废弃物的法律控制. 西安:陕西人民出版社

杜金科夫等. 1987. 垃圾的处理和利用. 北京:中国环境科学出版社

格拉柴尔斯坦. 1959. 有色冶金工业中的矿物原料综合利用. 北京:冶金工业出版社

国家科委社会发展科技司. 1992. 城市垃圾处理技术推广项目. 北京:中国建筑工业出版社

韩怀强,蒋挺大. 2001. 粉煤灰利用技术. 北京:化学工业出版社

蒋展鹏等. 1992. 环境工程学. 北京:高等教育出版社

金浩等. 1994. 环境管理与技术. 北京:中国环境科学出版社

李国鼎等. 1990. 固体废弃物处理与资源化. 北京:清华大学出版社

李国建. 2003. 城市垃圾处理工程. 北京:科学出版社

毛悌和等. 1991. 化学工业固体废弃物治理. 北京:中国环境科学出版社

美国环境保护局. 1992. 固体废弃物试验分析评价手册. 北京:中国环境科学出版社

毕振明等. 1993. 固体废弃物的处理与处置. 北京:高等教育出版社

王中民. 1991. 城市垃圾处理与处置. 北京:中国建筑工业出版社

杨国清,刘康怀. 1998. 固体废弃物处理工程. 北京:科学出版社

第十二章　剩余污泥的处理与处置

废水处理厂产生的污泥的处理步骤的确定取决于原始污水特征、单个处理工艺、化学品的利用、地方法规以及许多特定的条件。并且,污泥处理系统的投资和所需的运行费用可能等于甚至超过前面废水处理的费用,因此,设计者必须详细评估污泥处理系统的投资和运行效果以确定工艺方案。

污泥处理与处置包括:稳定;调节;浓缩;脱水;干化;残余物处理。

图 12.1　污泥处理工艺、方法和功能

图 12.1 给出了污泥处理方法和工艺之间的关系和定义每种工艺的功能的关键词。

下面我们将讨论每种工艺。

第一节 污泥的稳定 (Stabilization of Sludge)

污泥稳定可以改善其令人讨厌的状况,减少对人体健康的危害。同时还可以减容与减量并得到副产品(沼气)。

为使污泥不再令人讨厌,必须控制污泥的腐败,这可通过深度生物处理去除可降解有机物或物理化学作用抑制微生物生长来实现。为了将对人体的危害降至最低程度,必须通过生物、物理、化学手段或自然衰减等方法减少微生物量。

污泥稳定工艺包括:好氧消化;厌氧消化;化学稳定;堆肥;热处理;辐射;污泥塘。

稳定方法的选择或综合运用决定于污泥处理方法、脱水方法及最终排放方式。各稳定方法(如好氧消化与厌氧消化)会降低污泥量并可能较大程度的改变脱水性能,因此在其选择设计时必须考虑到这些变化。

12.1.1 好氧消化(Aerobic Digestion)

好氧消化污泥稳定法适合于小型规模的处理。对于较大规模的处理,由于能量的消耗,更适合采用其他工艺,好氧消化的优缺点比较列于表 12.1,典型设计参数列于表 12.2。

表 12.1 好氧消化的优点及缺点

优点	缺点
①运行及管理方便	①运行成本高
②减少了投资成本	②对环境温度较敏感
③上清液的 BOD 及总磷较低	③没有可用的副产品
④对负荷、pH 及毒物有较好的耐冲击能力	④易改变污泥的脱水性能
⑤不产生臭味	⑤对挥发性固体去除率较低
⑥不会发生爆炸	⑥对大型污水处理厂可能产生经济问题
⑦可减少油脂与乙烷的溶解	⑦减小了 pH 及碱度
⑧有利于提高污泥肥力	⑧可能产生泡沫
⑨污泥的停留时间短	⑨浮质漂流可能引起病菌扩散
⑩小污水处理厂的最佳选择	

表 12.2　好氧消化池设计数据

参　数	典　型　值
池数目	希望有多个
20℃时污泥停留时间	
初沉污泥	15～20d
初沉和活性污泥或滴滤池污泥	15～20d
剩余活性污泥	10～16d
未经初沉池的活性污泥	12～18d
每人口当量所要的体积	0.8～0.11 m^3/(人口当量·d)
挥发性悬浮固体负荷	0.32～2.24 kg/(m^3·d)
最小溶解氧	1～2 mg/L
氧需要量	
破坏细胞结构	2:1
减少初沉污泥 BOD	1.6:1～1.9:1
扩散曝气量	
剩余活性污泥	20～30 m^3/(min·10^3 m^3)
混合或其他污泥	大于 60 m^3/(min·10^3 m^3)
机械曝气功率	20～40 kW/1000 m^3

好氧消化可设计为间歇或连续流运行方式。若采用间歇式,污泥在连续曝气时进入反应器,在反应器加满后继续曝气 2～3 周,之后曝气终止,开始固液分离,2%～4%的固体被去除,上清液排出。连续流运行方式类似于曝气池后接沉淀的常规好氧系统(见图 12.2)。

图 12.2　连续流好氧消化系统

各重要的工艺设计参数(表 12.2)对温度很敏感。例如,在低于 50°F(10°C)时,挥发性固体的破坏接近于零;50°F(10°C)时破坏某一特定微生物所需停留时间是 68°F(20°C)的数倍;低于 59°F(15°C)的运行条件是不利的,必须延长停留时间才能达到稳定。如果需要加热确保反应,则好氧消化可能会不经济。

12.1.2 厌氧消化(Anaerobic Digestion)

无溶解氧时有机物的生物降解称为厌氧消化。污泥的厌氧消化是将可降解有机物转化为 CO_2(20%～30%)、甲烷(60%～70%)、硫氧化物、其他气体、水等,剩下的是生物性能稳定的残留物。消化后的污泥中指示细菌大幅度减少。一般来讲,厌氧消化的优缺点与好氧消化相反(表 12.1)。污泥厌氧消化的主要参数在表 12.3 中给出。

表 12.3 厌氧消化池设计数据

参 数	典 型 值
池数目	希望有多个
污泥停留时间	
中温消化	20～60d
高温消化	15～20d
温度	
中温	10～35℃
高温	38～60℃
每人口当量所要的体积	0.001～0.01 m^3/人口当量·d
挥发性悬浮固体负荷	0.64～6.4 kg/m^3/d
pH	6.6～7.6
消化污泥固体浓度	4%～6%

厌氧消化系统的设计受碱度、pH、挥发性酸、营养物、毒物与污泥化学特性的影响,并受到停留时间、温度、搅拌、固体填料、固体浓度等消化池物理特性的影响。其中,温度、搅拌、停留时间是设计的主要影响因素。

传统消化池是池底有坡度的圆柱体。重力除泥系统与机械除泥系统的池底最小坡度,分别为 1:4 和 1:12。鸡蛋形消化池是一种改进的池形。消化池设计包括池盖、搅拌装置、污泥加热系统、气体收集与处理、控制阀及臭味抑制。

为利用消化气体,必须设计合理的气体收集储存系统。该系统应包括池盖和辅助储存罐两部分。圆柱形消化池顶盖有两种基本类型:固定盖及悬浮盖。

固定盖在简化混合系统的设计与操作的同时还为消化池容积提供了最大利用率。消化池的顶部与液面之间留有空间作为储气室。固定盖对液体容量和气压变化的适应力差,需要增加压力波动最小化设施。固定盖投资费用低于悬浮盖,但通常需建设另外的容器存储气体。

悬浮盖浮于消化池表面,在不允许气体进入消化池的同时允许消化池容积改变。在这种设计中,必须隔绝空气与消化气以免可能产生易爆环境。悬浮盖使搅拌设备的计算复杂化,但提供了气体储存容积。

配有外液封的储气悬浮盖,被推荐用于二级消化池/存储反应器。这一设计提

供了消化池操作运行的灵活性,并省掉了抑制臭味的必要。

这两种池盖均需装备压力阀、真空减压阀和消焰器以及观察口与检查孔。池盖下部保留 100～200mm 的压力,以防止空气吸入池中。

设计合理的搅拌系统以确保反应过程的均匀性,并克服浮渣形成和颗粒聚积。抑制颗粒和浮渣产生的能量要求远大于搅拌本身,是控制性因素。传统搅拌设备的功率为 6～8 kW/1000m^3。消化搅拌系统分为两大类:机械系统与气体系统。

机械消化搅拌系统包括循环泵、限制性导流管搅拌器和非限制性机械搅拌器。其中循环泵使用最为广泛,为保证循环泵的有效利用,泵必须设计成有足够的尺寸以实现 20～30min 循环一次。导流管提供了良好的由上至下的搅拌,从而有助于防止生成浮渣,但它对液面高度很敏感。机械系统的维修项目涉及叶轮、齿轮箱、轴承和废物引起的阻塞。

第一和第二阶段厌氧消化池的传统设计中经常采用消化气体搅拌法。气体搅拌系统包括非限制性气体搅拌、气体注射和限制性气体提升。非限制性气体搅拌系统通过位于消化池底部附近的喷雾器或扩散器将气体打入池内。气体注射系统用管道或吹管向消化池提供气体,这些管道式吹管一般位于消化池底部以上约 1m 左右。限制性气体提升系统则通过注射管或大的气泡发生器将气体供给池内的导流管。

与机械系统相比,限制性气体提升系统的一个优点在于无移动部分、混合效果好。然而,气体注射系统易于阻塞,并且由于浸没水中而导致维修困难,因此可利用组合系统(如循环泵与气体注射系统的结合)来发挥各类型的优势。

保持恒定的消化温度是获得最佳厌氧处理过程的关键。为维持恒定的温度,需向进泥补充热量,该热量还必须同时补充容器的墙、地面和顶的热量散失。

内置式和外置式热交换器是两种应用最广的加热方式。外置热交换器由于其易于维护和运行而得到青睐。最普遍的外置式热交换器的设计包括水浴、套管和螺旋管。任何热交换器的设计目标均是将温度波动控制在 1℃/d 以内,否则不利于反应。

另一种加热污泥的方法是气体活塞或导流管上的热水套,内置活塞和气管提供了极佳的热传递效率。厌氧消化池最重要的能源是消化气,消化气可作为热水器系统的燃料,所生产的热水即可用于热交换器或水套中维持污泥温度。废气可进行收集、浓缩并鼓气进入再碳酸化单元还原为 CO_2。

单级消化工艺的两种基本形式是标准负荷和高负荷。标准负荷消化池(见图 12.3)是典型的在中温范围内运行的不加热系统,停留时间从 30 到 60 天不等。挥发性悬浮固体负荷低至 0.6～1.6 kg/(m^3·d)。这种消化池为间歇进料、间歇抽泥。

高负荷消化池 (见图 12.4)需要加热,在较高的中温范围(即 29～35℃)运行,

图 12.3 标准负荷厌氧消化系统

图 12 4 高负荷厌氧消化系统

停留时间可以短至 20 天,挥发性悬浮固体负荷为 1.6～6.4 kg/(㎡·d)。这种混合反应器(即消化池)可连续或间歇进料,抽泥与之相似。

如图 12.5 所示,以上两种基本形式可以组合为两级消化。两级处理可在不同的负荷下运行,第一个消化池进行消化,第二个消化池浓缩、储存污泥。污泥从二池回流入一池,为生污泥的稳定提供了种污泥,这可认为是对一级消化的有效改进。

图 12.5　两级厌氧消化系统

鸡蛋形消化池(ESD_s)在欧洲广泛使用,并在美国的大中型处理工程中日益流行。由于 ESD_s可在最大固体负荷时运行,因此它具有较小的容积需求。

传统的单级消化池设计通常包括气体储藏器。由于 ESD_s系统只能提供最小的气体储存容量,因此需要外加一个容器或专门的储藏池。ESD_s混合和抑制浮渣生成所需能量小于传统消化池。ESD_s一般由一个内置导管和一个后备气体鼓泡系统进行混合。

传统消化池需要周期性清洗(一般 3～8 年),清洗时必须停止运转并放空消化池,而 ESD_s的池底是圆锥体,只要搅拌适中,颗粒即不会聚积。浮渣则因陡的锥面和较小的液面积产生量大大降低,导管机械搅拌器或一个小型表面搅拌器有助于打碎形成的浮渣。

ESD_s占地面积小,鸡蛋形曲面下留有一定空间可安置辅助设备和管道,其密封设计抑制了臭味及易燃气体的逸出。

为确定对大中型项目的可行性,有必要对传统和鸡蛋形消化器进行费用比较,这种比较应在相似的搅拌性能、回流泵、加热系统、外置热交换器及气体利用、废物处理的情况下进行。

高温系统中,提高温度可加快反应速率和有机物降解速率,在增大现存消化系统处理能力和进行层安装时,可以考虑该法。我们可以将加热所增加的能耗费用与传统消化池进行比较。

不论选择何种流程,均需考虑消化气的回收和回用。对较大的系统,甲烷可回收为有价值的能源,这将对分析中温与高温系统产生影响。消化气的燃料值约为(22 kJ/ L)。

上清液富含悬浮物和 BOD,一般进行小容量回流至水处理工艺中(回流至初级沉淀池进液),混合系统在排出上清液前必须进行沉淀,除非另外提供反应池进

行分离。

12.1.3 化学稳定(Chemical Stabilization)

氯气氧化和石灰处理是污泥稳定的化学方法,化学药品的价格及其副作用限制了这些稳定工艺的应用范围。

1. 氯气氧化

在密封反应器中直接向污泥投加高浓度 Cl_2(达 2000 mg/L)可得到适于脱水的稳定污泥。脱水经常采用压缩床和压缩过滤。化学调节在所有机械脱水系统中都必不可少。

污泥和上清液 pH 低,可能需要调节,氯气氧化可能会生成氯化合物和不溶性重金属一类不希望出现的副产品。

2. 石灰处理

石灰稳定法在未处理污泥中加入足够量石灰提高 pH 至 12 或更高。脱水石灰、$Ca(OH)_2$、生石灰或 CaO 均可用于石灰处理法中。高 pH、高温环境减少病菌,去除臭味,降低发生腐败的可能性。一项 USEPA 研究结果表明,必须保持 pH 在 12.2～12.4 之间,才能确保污泥被稳定,pH 应在长于 2 周的时间保持 11.0 以上。

石灰稳定法所需石灰量大于调节过程,不会引起有机体的破坏。它提供的单一处理工艺易于控制,并产生可土地利用的污泥。典型石灰的投加量(作为污泥固体百分比的函数)列于表 12.4。

表 12.4 化学稳定中石灰的需求量

为获得所需的 pH 的石灰投加量	污泥质量/%				
	1	2	3	3.5	4.4
pH = 11 $Ca(OH)_2$/(mg/L)	1400	2500	3700	6000	8200
pH = 12 $Ca(OH)_2$/(mg/L)	2600	4300	5000	9000	9500

12.1.4 堆肥(Composting)

堆肥是一种环境可接受的稳定污泥的可行性方法。

1. 基本原理

堆肥是一个由嗜温菌、嗜热菌对有机物进行好氧分解的稳定过程。通常污泥要和膨胀剂相混合以增加空隙度使通气良好,减少含水率和改善 C/N 比。所有这三个因素往往结合在一个产品中,例如稻草、木屑或住户垃圾。不可生物降解的物质如塑

料等也能应用。但也有不用膨胀剂或掺合料堆肥的,堆肥的周期当然要长很多。

堆肥一般可以分为发热、高温消毒和腐熟成品三个阶段。堆肥初期,在自然或强制通风情况下,温度逐渐上升,嗜温菌迅速成长,大量增殖,在微生物降解有机物过程中,产生一部分热能,使温升加快。从发热阶段进入高温降温阶段。当温度升高至 55℃以上时,嗜温菌开始受抑制,并开始活跃,有机物进一步分解形成腐殖质,需氧量逐渐减少,温度持续下降,稳定在 40℃左右时,堆肥即已基本稳定。经过干燥、筛分、熟化,就可成为成品肥料。

2　控制因素

①含水率。要控制在 55％以下,否则影响升温,要保持持续高温,达到无害化要求。因此污泥在堆肥前必须进行浓缩和脱水处理,含水率不宜超过 80％。

②温度。50～65℃,充气堆肥要保持 55℃3 天以上;自然堆肥要保持 55℃15 天以上,并翻动 5 次,最高不宜超过 75℃。

③C/ N 比。含 N 多的有机物,C/ N 比小,分解快,含 C 多的有机物 C/ N 比大,分解慢。C/ N 比控制在 25～40 较为理想。

④pH7～8. 5。

⑤充气堆肥的通风量。3. 0～3. 6 m^3/ (m^3堆肥·h)。

3　堆肥方式(Methods of Composting)

(1)美国贝尔茨维尔 Beltsville 充氧堆肥法

该法的特点是在条形肥堆下部设穿孔管,用真空泵抽气,使空气从污泥混合物通过而充气,排出的废气再经过成熟的肥堆过滤以防止散发臭气。温度分布比较均匀,产品比较安全卫生。美国费城污泥制配中心的堆肥场,1987 年生产干污泥 5 万吨。两侧是条形肥堆,中部为强制通风装置与空气管。

(2)挪威奥斯陆 BAV 槽式堆肥法

BAV 槽式堆肥反应器于 1980 年在奥斯陆的倍开拉格特污水厂开始运转,其工艺流程见图 12 6。混合的活性-化学(Fe)污泥由离心机脱水至干固体含量 20％,再和木屑及生堆肥一起混合后,进入一个直径为 9m 的 500 m^3反应器。每天可以处理 30 m^3的脱水污泥,正常的停留时间为 10～12 天。未经循环的生堆肥要运至成熟区再堆放 6～9 星期后使用。

该装置在运转中曾发生短路现象,经检查测试,反应器中部的堆肥仅停留一天而周边的达 4～5 个星期。因此需要在反应器中加搅拌装置,以保证均匀降解,提高堆肥的质量。

(3)不加掺加料的条形堆肥

1980 年挪威农业研究署报道了他们采用自然通风不加掺合料的条形堆肥方

图 12.6 挪威槽式堆肥法

1. 污泥用离心机脱水; 2. 脱水污泥材料; 3. 锯末和循环堆肥的料斗; 4. 螺旋搅拌机; 5. 传送带; 6. 生物反应器; 7. 曝气装置; 8. 生堆肥料安放; 9. 生堆肥料运至成熟区

法在 1977～1979 年建设了比较广泛的示范工程。图 12.7 说明了堆肥过程的不同阶段。

首先将污泥用离心机脱水至含固率 20% 以上,然后用车运送到堆肥场堆放。夏季通过蒸发和一定程度的渗透,表层污泥自然干燥,通过翻堆,较硬的表层污泥和内层较湿的污泥相混合起掺合料作用。干固体可达 20% 左右,并含有一定的空隙率,促使堆肥继续进行。第一次翻堆后,隔 12、19、24 天分别再翻一次。秋天连续翻堆,直至全部成为熟料。翻堆时采用装载机或挖掘机。

影响堆肥的几个主要因素:

①堆场的土地要有良好的透水性,不应用黏土、细沙和表层土作为堆肥的基底。

②要有利于机械翻堆的工作条件。

③六月至九月的降雨量不能超过堆肥处自由水表面的蒸发量。

不能充分干燥的补救办法是:

①再过一个夏天干化期。

②将污泥堆在 10～15cm 的树皮上。

③在污泥堆中种草。

④更换脱水机械,使含固率达 25% 以上。

12.1.5 热处理(Heat Treatment)

热处理稳定污泥,可通过巴氏消毒或低压氧化实现。该法在欧洲被用来破坏病菌有机体,包括对污泥的消毒。随着对污泥土地应用的兴趣不断增加,该法颇显吸引力,尤其当应用于牧草或其他食物链植物时更受青睐。

巴氏消毒系统要求温度 50～75℃,时间 30～60 min。为杀死病毒和细菌,常要

图 12.7　堆肥过程

求进行处理工艺组合。类似结果还可通过在温度 175～205℃,压强 1250～1450kN/ m^2,停留时间 20～30min 等条件下的低压氧化方法得到。这种方法经常与污泥调节系统合用。

12.1.6　辐射(Irradiation)

辐射杀菌可能会在未来成为稳定污泥的成本适中的有效方法。然而,目前辐射受到高成本、实际工程技术和安全问题的制约。

12.1.7 储泥池(Lagooning)

可设计储泥池作为原污泥稳定的生物消化池。在实践中该法因土地的价格、潜在审美(臭味)问题、操作灵活性的缺乏而受到限制。并且,完成生物反应需要几年的时间。因此,储泥池最适用于紧急处理或农村。储泥池还可设计成污泥脱水池。

第二节 调 节 (Conditioning)

调节是特别为增强污泥脱水性能设计的处理工艺,化学调节和热处理是最常见的方法。淘洗是一个冲洗过程,能降低脱水对化学调节剂的要求。特殊应用时可考虑通过加入灰分、凝固或其他方法来调节。常用调节方法及目的列于表12.5。

表 12.5 污泥调节方法和目的

调节方法	受影响单元	目 的
投加絮凝剂	浓缩	提高负荷率、浓缩度和污泥捕集量
投加絮凝剂	脱水	提高产率、泥饼中固体含量和污泥捕集量
无机类化学添加剂	脱水	提高产率、泥饼中固体含量和污泥捕集量
洗涤	脱水	减少酸性化学调节剂用量并提高浓缩程度
热处理	脱水	消除或减少化学品用量,提高产率、泥饼中固体含量及其稳定性。产生一些转化
投加灰分	脱水	改善带式真空过滤机和压滤机产生的泥饼质量,也可提高过滤机产率并减少化学品用量

12.2.1 化学调节(Chemical Conditioning)

实践中经常采用化学絮凝剂凝聚污泥固体物质、释放吸附水。其伴随的污泥物理化学性质的改变有效地改善脱水性能。可通过现场或实验室实验确定具体工艺中最有效的化学调节剂类型和剂量。

最常用的无机化学调节剂为 $FeCl_2$、$Al_2(SO_4)_3$和石灰。其中铁盐应用范围较窄。有机调节剂包括有机聚合电解质或聚合物。其中阳离子聚合物效果最佳,但阴离子与非离子聚合物在与其他化学物质合用时也能取得很好的效果。基本的化学调节剂的范围要求见表12.6。

表 12.6　化学调节剂用量

	化学调节剂用量/ %干污泥固体		
污泥类型	$FeCl_3$	$Ca(OH)_2$	聚合物
生污泥	1～3	0～5	0.15～0.25
生污泥(初沉及过滤污泥)	3～6	0～15	0.2～0.5
生污泥(初沉及活性污泥)	4～8	0～15	0.3～0.75
活性污泥	6～10	5～15	0.4～1.25
消化污泥(初沉污泥)	2～3	3～8	0.15～0.4
消化污泥(初沉及过滤污泥)	4～8	5～15	0.3～0.75
消化污泥(初沉及活性污泥)	6～10	5～15	0.3～1

12.2.2　淘洗(Elutriation)

因优于化学调节,淘洗被广泛应用于去除厌氧消化污泥中干扰污泥脱水或需消耗大量化学调节剂的元素。淘洗是对可溶性化合物或微小固体颗粒的逆流或顺流冲洗。该系统的优点在于化学成本大大降低,然而,这种方法的使用常常因处理工艺中生成不希望的固体而受到制约。

可选用一个或多个池子建立单级或多级冲洗。冲洗时,污水处理厂出水或饮用水与污泥混合时间为 10～15 min,该混合过程由机械或扩散气泡法实现。污泥与冲洗水的比值各异,其中较典型的一种为 1∶2。

12.2.3　热处理(Heat Treatment)

在温度 150～260℃,压力 1035～2760 kN/ m^2 条件下,可进行热处理。此时,活性污泥的蜂窝状结构坍塌,固体碎片由矿物质和残存蜂窝结构物质组成。同时,该过程降低了剩余污泥的亲水性。以上变化均使污泥更易于脱水。

第三节　浓　　缩
(Concentration)

污泥浓缩常作为脱水(有时是污泥稳定)的前一步处理,以达到浓缩污泥浓度,排出上清液的目的。因浓缩污泥体积小于未浓缩污泥,后续污泥脱水的时间和费用被相应降低。污泥浓缩最普遍应用于当两个独立稳定过程的污泥混合进行脱水时。

污泥浓缩单元的设计需考虑以下因素:

①污泥类型,如废弃活性污泥。

②未浓缩污泥的浓度和要求达到的浓缩浓度。

③用于污泥处理的其他工艺。

④污泥稳定性。

⑤化学处理要求。

⑥成本和运行费用。

⑦浓缩污泥所需泵及管道。

⑧操作类型,如间歇或连续。

污泥浓缩方法为物理过程,一般包括下面方法中的一种:重力沉降;气浮;离心分离。

以上方法的比较(作为污泥类型的函数)见表 12.7。

表 12.7 污泥浓缩方法的比较

方法	污泥类型	相关考虑	应用频率及成功性
重力沉降	初沉污泥	分离剩余活性污泥,并使之浓缩	应用日益广泛,效果极好
重力沉降	消化初沉污泥	分离剩余活性污泥,并使之浓缩	应用较少,但方法是可行的
重力沉降	初沉及剩余活性污泥	回流剩余活性污泥至初沉池	应用范围日益下降,通常效果较差
重力沉降	初沉及剩余活性污泥	直接将污泥混合浓缩	有一些新的应用,但效果尚不清楚
重力沉降	曝气的剩余活性污泥	分离初沉池污泥并使之浓缩	实际从未得到应用,且效果很差
重力(洗涤)	消化初沉污泥和剩余活性污泥混合物	二次消化或是洗涤	被许多污水处理厂应用,需投加混凝剂
浮选	初沉及剩余活性污泥	直接将污泥混合浓缩	很少采用
气浮	曝气的剩余活性污泥	分离重力浓缩后的初沉池污泥	应用日益广泛,效果很好
转鼓带式离心机	剩余活性污泥	分离重力浓缩后的初沉池污泥	被限制应用,存在固体捕集问题
碟式离心机	剩余活性污泥	分离重力浓缩后的初沉池污泥	被限制应用,正在收集数据

12.3.1 重力沉降(Gravity Settling)

重力沉降或浓缩是指处理过程中污泥仅靠重力沉淀,上清液由溢水槽排出。Ⅲ级和Ⅳ级沉淀是该过程的特点,这在悬浮固体处理中有论述。

大部分重力沉降器的物理特性类似于传统圆型沉淀池,不同处仅为:污泥收集刮泥机功率更大,池底更陡,部分常用物理参数为:

深度 3.3～3.7 m

直径 21～24 m

池底坡度 1:6～1:4

需要通过搅拌去除截留液体和气泡,防止污泥短流,使浓缩污泥流向中心收集器以便去除。通常是机械搅拌器与污泥机械收集器联合使用。在设计过程中,必须对污泥特性给予评价。

重力浓缩最基本的设计因素是,为取得预期出泥浓度(见Ⅳ级沉淀)所需面积,这一参数被表达为固体表面负荷,单位为 kg/(m^2·d)。重力浓缩典型的设计与运行数据见表 12.8。可加化学混凝剂以提高负荷,改善沉淀与浓缩性质。

表 12.8　重力浓缩设计数据

污泥类型	固体表面负荷率/ [kg/ (m²·d)]	浓缩污泥固体浓度/ %
初沉污泥	58～146	8～10
石灰调节后的初沉污泥	98～122	7～12
初沉和过滤污泥	49～59	7～9
初沉和剩余活性污泥	29～49	4～7
过滤污泥	39～49	7～9
剩余活性污泥	24～29	2.5～3
石灰调节后的污泥终产物	293	12～15

重力浓缩池的水力负荷一般为 8～33 m³/ (d·m²)。负荷应该足够的低以保证有效的沉淀和浓缩,但是也应有足够的高以控制臭味和避免腐败的形成。后者也可通过加氯而达到目的,大约 1mg/ L 的余氯就足够了。

设计过程中的另一个重要参数是污泥体积比(SVR),即污泥层体积与每天外排的污泥体积之比,它的单位是天(d)。通过它可估算出污泥停留时间或污泥浓缩所需的时间。污泥体积比一般为 0.5～2.0d,在温暖的气候条件下也可短一些。特定污泥的 SVR 值可通过沉降柱实验获得。

12.3.2　溶解空气浮选(Dissolved Air Flotation)

对于那些不能用重力沉降进行浓缩或用重力浓缩需时很长的污泥可以用溶解空气浮选法(DAF)进行浓缩,而且效果更好,可以实现更低的成本和更高的固体浓度。

在浮选过程中,将压缩空气通入污泥。压缩空气释放形成的小气泡就会黏附到污泥颗粒上,对污泥进行提升,使其上浮到表层得以去除。有关浮选的原理参见悬浮固体去除部分。图 12.8 和 12.9 分别是圆形和矩形处理单元的物理构造。

图 12.8　圆形溶解空气浮选系统

图 12.9 矩形溶解空气浮选系统

表12 9列出了浮选浓缩池的设计资料。另外,设计时还要考虑停留时间(一般取 30 min)和进泥浓度(随处理污泥的改变而改变)。污泥的变动性提示在设计时应进行实验测试。

表 12.9 浮选浓缩池设计资料

参 数	典 型 值	范 围
压力	270～410 kN/ m^2	205～540 kN/ m^2
气固比	0.02	0.02～0.04
无化学物质时固体负荷	50～100 kg/ (m^2·d)	40～240 kg/ (m^2·d)
有化学物质时固体负荷	125～500 kg/ (m^2·d)	125～300 kg/ (m^2·d)
水力负荷	460 m^3/ (m^2·d)	230～1200 m^3/ (m^2·d)
浮选厚度	20～30 cm	15～60 cm
回流	100 %	30 %～200 %
浮选固体浓度	3 %～5 %	2 %～10 %
固体去除率	95 %～99 %	75 %～99 %

做浮选实验所需的设备有压缩空气源、压力计、压力溶气罐和浮选单元。由于浮选表面积受设备的限制,所以停留时间是一定的。但是,对于估算达到目标浓缩效果所需的气固比来说,实验室浮选系统是十分有用的,而且还可用来估算化学添加剂的效果。设备制造商和他们的有关文献可提供更详细的实验步骤。

浮渣被刮除到储料斗,以便在进行下一步处理或最终处置前释放吸附于污泥颗粒上的气泡。浮渣的原始浓度,一般为 700 kg/ m^3,可用于设计储料斗的体积。

同时,浮选系统必须要配有收集和去除在浮选过程中沉降下来的污泥颗粒的设施。

12.3.3　离心(Centrifugation)

在理论上,离心可用于污泥浓缩。然而,由于其成本高、维护费用高,限制了这方面的应用。有关离心分离的一般知识可参见悬浮固体去除部分。

对篮式、碟式及转鼓式离心机在污泥浓缩效果方面的评估表明,用这三种离心机进行污泥浓缩得到的固体浓度分别为 9%～10%,4%～6%,5%～13%。当空间有限或其他浓缩方法效果不佳时,这些处理单元是最可行的。

图 12.10　碟式离心机

碟式离心机最适用于对流量大且细粒子浓度低的污泥进行浓缩。碟式离心机的构造及原理参见图 12.10。

第四节　脱　　水
(Dewatering)

脱水是一种去除污泥水分,使其由流态变为湿固体或泥饼的污泥处理工艺。比较常用的脱水设备包括有离心机、干化床、污泥塘、真空过滤器、压力过滤机及带式压滤机。

设计工程师设计时要考虑每一种方法对每一种特定污泥的效果。脱水及其与前后工艺的关系见表 12.10。

表 12.10　脱水和其他污泥处理工艺的关系

方法	通常的预处理			脱水泥饼的主要用途		
	浓缩	调节	填埋	施于土地	热干	焚烧
离心(转鼓)	是	是	是	是	是	是
离心(篮式)	可变	可变	不	是	不	不
干化床	可变	不常用	是	是	不	不
干化塘	不	不	是	是	不	不
压滤	是	是	是	可变	不常用	是
水平带式过滤	是	是	是	是	是	是
旋转真空过滤	是	是	是	是	是	是

12.4.1 离心(Centrifugation)

由于通过离心力可以增大污泥颗粒的沉降速度,因此离心机在污泥脱水方面应用最广泛。影响离心机设计和运行的一般变量包括有进泥流量、污泥固体性质、污泥黏度(稠度)、温度及化学条件。

转鼓式、篮式及碟式离心机是最常用的离心机。碟式离心机在浓缩固体方面已有所应用,但是对污泥进行脱水效果较差。离心机脱水中用到的辅助设备包括:化学调节工艺设备;污泥进料泵;中心泵及管路;冲洗水系统;泥饼处理设备。

1. 转鼓离心机

转鼓离心机是一种连续操作单元,可以是反向流(图 12.11),也可是同向流(图 12.12)。影响转鼓离心机性能的主要变量有转鼓的设计、转鼓的速度、池体积、传输机速度、传输螺距、进泥量。各种典型性能参数见表 12.11。

图 12.11 反向流转鼓离心机

设计转鼓时,要考虑高径比,一般取 2.5:1～4:1。高径比越大,澄清能力越强。转鼓速度也是影响澄清效果的一个重要参数。污泥颗粒沉降速度是速度平方的函数。但是,转速越高维护费用也越高。

通常,所配池体积相对较大(也就是说深的池子)的离心机比较适合于脱水,因为池体积较大时,停留时间也相应增长,作用于污泥的力也较小。为提高澄清效果

图 12.12　同向流转鼓离心机

和泥饼的干度,池深应进行现场选择。

固体停留时间取决于转鼓速度和传送机速度之差,也可通过改变传送机的斜度来增大澄清区的长度。设计传送机和确定传送速度时,必须考虑到要使紊动最小,传送能力最大。

表 12.11　离心脱水性能参数

污泥类型	固体含量/ %	
	转鼓离心机	无孔篮式离心机
未消化污泥		
初沉池	25～36	25～30
初沉池和滴滤池	20～30	14～20
初沉池和活性污泥	18～25	11～17
滴滤池	—	9～12
活性污泥	8～14	8～14
消化污泥		
初沉池	22～32	18～25
初沉池和活性污泥	15～21	10～14
活性污泥	8～15	6～10
热处理的消化污泥		
初沉池和活性污泥	30～40	—

进泥速率会影响澄清效果和泥饼干度,所以为达到预期效果就需达到一个平衡。例如,当进泥速率较大时,停留时间就会短一些,由于细小颗粒的流失,污泥颗粒的恢复也就少一些。然而,产生的泥饼却比较干燥。进泥管的设计对于减少紊动来说也是很重要的。同向流离心机能减轻这一影响。

2 篮式离心机

图 12.13 所示是篮式离心机,可能是有孔型也可能是无孔型。只有无孔型离心机才较好地适合于污泥脱水。篮式离心机围绕一个垂直的轴转动,一般工作于半连续进泥和排泥的状况下。其性能参数见表 12.11。

图 12.13 篮式离心机

篮式离心机与连续进料的转鼓离心机相比,其处理能力较低。但是由于其在无化学调节的情况下得到较高的固体回收率,因此更适用于对污泥进行脱水。

12.4.2 干化床(Drying Beds)

干化床最适用于小型设施,因为这种工艺依赖于天气,而且需要较多的劳力和土地。其操作原理是通过蒸发和污泥及其下面介质的浸渗作用来脱水。

为了使污泥臭味最小,提高脱水性,污泥必须要很好地稳定。有时,浓度对于提高干化床的效率是有利的。同时,在降水量很多或经常降水的地区,必须考虑用覆盖等措施(通风要好)。

虽然沙干化床最常见,其他的干化床还有铺式干化床、楔形管干化床、真空辅助干化床等。

1. 沙干化床

如图 12.14 所示,沙干化床由从细到粗的沙层和碎石层构成,下面有一个开口接头的管式排水系统。沙干化床的优缺点见表 12.12。

图 12.14　沙干化床

表 12.12　沙干化床的优缺点

优点	缺点
①成本低——不包含土地	①受天气状况影响,例如,下雨、结冰
②低运行人力且对工人技能要求低	②占地面积大
③能耗低	③去除泥饼时需人力多
④维护费用低	④视所在位置,可能产生美观的问题
⑤少需甚至不需化学物质	⑤对于未稳定的污泥来讲可能会有味道
⑥泥饼固体含量高	

沙干化床的设计标准见表 12.13。规模(所需的面积)通常是很大的,如果这些床是被设计为最基本的脱水处理工艺的话。

通过一个批次的处理,污泥就可以排放干化直至成饼龟裂。在这个阶段,污泥颗粒浓度可达 20%～40%。沙干化床可以人工也可以机械清洗(通常固体泥饼浓度达 30%～40%时,进行人工清洗,20%～30%时可进行机械清洗)。

其附属物包括有为防止流入的污泥冲刷沙砾形成短流而设置的挡泥板垫。同时,为了能在污泥运输时应用卡车和其他设备,必须在床体中心下建一个加固的混凝土操作平台。典型的操作平台宽 1.5 m,高 15 cm,一般成对运行,平行间距约为 1 m,组间距为 6 m。最后,还必须有一个收集地下排水并将其回流到处理厂的设备。

表 12.13 沙干化床设计数据

参 数	典 型 值
最小数目	2
形状	矩形
长度	6～12 m
宽度	6 m
沙层	
厚度	23 cm
有效尺寸	0.1～1.0 mm
均匀度	<4.0
砾石层	
深度	30 cm
坡度	3.2～25 mm
地下排水系统	
管子尺寸	最小 10 cm
空间	<6.1 m
坡度	1%
沙上干舷	30～45 cm
面积需求	
敞开式	0.09～0.18 m^2
覆盖式	0.06～0.13 m^2
应用深度	20～30 cm

2 铺式干化床

对于铺式干化床来说,可以用机械式污泥清除设备而不损坏底下的排泥管路。铺式干化床可由沥青或混凝土铺成,床底向中心倾斜,因为地下排水系统设在床中心的底部。这种系统的主要缺点是成本较高。

3 楔形管干化床

从本质上讲,楔形管干化床(见图 12.15)就是用楔形管代替沙子作介质。楔形管放在一个敞开的混凝土池中,这个混凝土池可以是新建的也可以是原有沙化床的改造。

图 12.15 楔形管干化床

由于多余的水不能通过毛细管作用回到污泥中,所以用这种工艺脱水较快。这种工艺还可通过应用倾斜板操作单元实现泥饼的清除。这个相对较新的工艺的优点须从费用和操作要求来评估。

4. 真空辅助干化床

小型真空泵可用于加快置于多孔介质板上污泥的脱水。这个方法相对较新,当前运行的只有少数几套。当设计人员考虑有关工艺设计时须搜寻近些时候该工艺的表现数据。

12.4.3　干化塘(Drying Lagoons)

污泥塘可用来储存污泥或用来脱水,主要区别在于干化塘较浅。浮于表面的污泥有利于加速干化。典型的设计参数见表 12-14。设计时还要考虑表面水分流和建一个斜坡或其他通径使污泥清除设备可以工作,还应当考虑美学价值。

表 12-14　干化氧化塘设计参数

参　数	典　型　值
最少个数	2
堤	
外坡度	1:2
内坡度	1:3
深度	0.15～1.2 m
到地下水的深度	>1.2m
负荷	
容积负荷	35～38 kg/(m³·a)
表面负荷(30 天)	8～16 kg/m²
人口当量负荷	0.09～0.37 m²/人口当量
排放	单个或多出口
污泥运走	1.5～3a

干化塘常常因为占地面积、臭味的控制和美学考虑、降雨和气候模式,以及土壤表层下和地表水状况等因素而受到限制。尽管如此,这个低成本、易操作系统还是得到了很广泛的应用。

12.4.4　真空过滤机(Vaccum Filters)

直至十年前,真空过滤还是最广泛的机械脱水工艺,特别是在用滴滤生化处理单元的处理厂。真空过滤机是一个部分浸没在污泥调节池并转动的水平圆筒。真空过滤机常被用于压滤,在过滤介质上形成泥饼。真空过滤系统见图 12-16,设计及性能参见表 12-15。

图 12.16 真空过滤系统

表 12.15 真空过滤设计和性能参数

污泥类型	负荷率/ [kg/ (m^{-2}·h)]	泥饼总固体含量/ %
未消化污泥		
初沉池	24～29	25～32
初沉池和滴滤池	15～29	20～28
初沉池和活性污泥	10～24	16～26
活性污泥	5～10	12～20
消化污泥		
初沉池和滴滤池	20～29	20～28
初沉池和活性污泥	15～24	20～24
石灰污泥		
低石灰含量	15～29	25～30
高石灰含量	24～49	30～40
聚合体污泥	39～49	25～38

主要的真空过滤机类型有鼓筒式、蛇管式和带式。布介质主要用于鼓筒式和带式,不锈钢弹簧用作蛇管式的介质。鼓筒式过滤机不同于另外两种,因为介质不离开鼓筒,就地清洗。运行在 38cm 汞柱以上的真空下,产额没有明显提高。

随着筒的旋转,各部分都能处于真空或有压条件下。当筒旋转通过污泥池,一定的真空度可在介质上形成适合厚度的污泥垫层。形成的垫层可在一个脱水和干燥真空装置下处理,并且滤液被排出以便进行分离处理。其最终污泥饼通过一个刮泥板从筒中移走;可加一轻微的压力以利于饼层的移走。图 12.17示出了三种运行区。

图 12.17 真空过滤运行区

12.4.5　压滤机(Pressure Filters)

凹板式压滤机是应用于污泥处理的十分常用的压滤机。有两种类型的凹板式压滤机:固定体积和可变体积的。可变体积装置也叫做隔膜压滤机,这是一个相对较新的系统。凹板式压滤机经常与板框式压滤机相混淆,后者曾有过工业化和全欧应用的经历,但随凹板系统的发展,它就越来越少地被用于城市污泥的处理了。一般来说,化学品调节必须先于压滤机,并且应用于较大装置才能经济有效。

自动化程度的增强,过滤介质的改进和较大装置的大处理量已引致了更多的对加压过滤的兴趣。特别受欢迎的是压滤机具有生产高的饼固体密度的能力,能提高滤液清净度,能提高固体物捕获量和减少化学品消耗。其缺点是饼去除中须人工辅助,间歇运行以及成本和运行费用高。

传统压滤机是由固定在框架中的垂直板组成,并在固定端和移动端之间被压紧(见图 12.18)。滤布安装在每一块板的上面。对于隔膜装置,一种橡胶隔膜支撑着压滤机空穴一侧上的滤布。

图 12.18　压滤机

污泥在压力下进入压滤机,同时水穿过滤布,污泥固体被留下,这样泥饼就形成了。当洞穴满了以后,污泥进料停止,同时加压循环开始和继续,直到滤液的流量为零。总的过程循环包括装料、加压去除饼层、洗涤介质和恢复压榨状态

隔膜压滤机在应用了低压以后使用一个橡胶隔膜进一步压缩。与固定体积压滤机相比,其优点是可形成一种具有相对均匀湿含量的较干滤饼,一个总的较短运

行循环(较高的每批产量),没有预涂层需求和其他的(诸如易于操作等)优点。另一方面,隔膜压滤机的主要缺点是起始消耗要比固定体积压榨机高 2～3 倍。

一种普通压滤机系统的组成示于图 12.19。压滤机装置的典型设计数据和运行数据分别列在了表 12.16 和表 12.17 中。在具体设计过程中,设计工程师应该询问设备制造商和参考它们的参数设置。

图 12.19 压滤机系统

表 12.16 压滤机设计数据

参数	典型数值
室体积	0.02～0.08 m^3
室数目	可大到 110
每室过滤面积	1.3～4.2 m^2
加压循环时间	1.5～4h
总操作循环时间	2～6h
操作压强	700～1500 kN/ m^2
污泥饼厚度	2.5～5cm
固体含量	25%～50%

表 12.17 压滤机运行数据

污泥类型	固体浓度/ %	
	固定体积压滤机	隔膜压滤机
未消化污泥		
初沉池污泥	40～50	45～54
初沉池和滴滤池污泥	—	40～50
初沉池和活性污泥	30～42	38～47
活性污泥	24～35	31～42
消化污泥		
初沉池和滴滤池污泥	—	38～48
初沉池和活性污泥	35～45	—
活性污泥	24～40	—
热处理过的消化污泥		
初沉池和活性污泥	45～55	50～60

12.4.6　带式压滤机(Belt Filter Presses)

对于污泥脱水,运用重力和压力原理的许多设计方案可以利用。带式压滤机就是一个依据重力脱水的一种设计,它具有一个压缩器区和剪切运行区。图12.20所示即为这些区和一种带式压滤机的组成。另外它还具有可保持皮带清洁的带式洗涤喷雾器。对于当前设计和以往性能表现应该咨询生产商。典型的性能参数列在了表12.18中。

图12.20　带式压滤机

表12.18　带式压滤机运行数据

污泥类型	固体浓度/ %
未消化污泥	
初沉池污泥	28～40
初沉池和滴滤池污泥	24～32
初沉池和活性污泥	20～30
活性污泥	15～24
消化污泥	
初沉池和活性污泥	18～23
热处理过的消化污泥	
初沉池和活性污泥	38～50

类似于带式压滤机,还有另外三种水平式机械脱水系统。移动筛浓缩机利用两级变速移动筛(见图 12 21)。另一装置是一种毛细作用脱水系统(见图 12 22),它是在重力排放阶段之后运用毛细作用脱水。最后是旋转重力浓缩系统,它具有两个滤布形成的独立单元;脱水过程发生于第一单元而泥饼形成过程在第二个单元(见图 12 23)。

图 12.21 移动筛浓缩机

图 12.22 毛细脱水系统

图 12.23　旋转重力压缩器

第五节　干　　燥
(Drying)

污泥干燥总的来讲是一个热处理过程,因而污泥的体积和质量都减少。干燥系统主要包括以下一些类型:热处理;焚烧;高温热解;缺空气燃烧;湿式氧化。

仅热处理可提供一种适合用作土壤调节剂的滤渣。热解产生出一种具有一定燃烧值的炭。另外,所有这些过程都产生一种适合于填埋的残渣。

如果污泥无害并且易于获得充足土地,那么污泥干燥也许并不划算。然而,随着可获得的土地的减少,有关填埋的法规日益增多和能量消耗的增加,干燥工艺变得越来越可取。

12.5.1　热处理(Heat Treatment)

在热处理干燥工艺中,污泥中的水分是通过一种热气流的引入而被蒸发;干燥过的污泥含有 8%～10% 的固体物。温度大约 370℃时,处理过程中没有污泥固体物燃烧;然而,多数系统可以被调整或扩大以便能包括焚烧或固体燃烧。

完全的热干燥系统有商品供应,包括用于空气污染(微粒和气味)控制的湿法洗涤器和干固体收集器。热处理系统的基本步骤是:湿污泥和干污泥混合;干燥;废气处理;干燥固体的处理。

因为热处理系统的高成本和高运行消耗,在干燥过程之前应该用机械方法使污泥水含量尽可能地减少。这种高消耗也限制了热处理的应用。一种例外是把干

燥污泥用作化肥添加剂和土壤调节剂,特别是当最终产品可市场化,并在焚烧过程之前对污泥进行干燥。

用于热处理的五种干燥器类型:闪蒸干燥器;旋转干燥器;环形干燥器;多床式干燥器;喷雾干燥器。

最常见的系统是用闪蒸干燥器。

1. 闪蒸干燥器

在闪蒸干燥过程中,通过把污泥加入热气体(空气)蒸汽中将污泥水分蒸发。一开始先将湿污泥和干污泥搅拌以改善气流输送。热气体的温度为 650～760℃,搅拌过的污泥被混合和传送进入一个笼式磨房,它机械地搅动污泥直到水分被蒸发。接着,干燥的污泥和用过的气体在一旋风分离器中分离,同时一些污泥返回与进料污泥混合,剩余的送去储存以进入下一处理过程或最终处理。

2. 旋转式干燥器

旋转式干燥器包括一个微斜的每分钟 5～8 转的圆筒。在进入干燥器前,湿污泥和干污泥被搅拌。通常,沿干燥器长度的刮板或挡板用于打碎混合污泥以便更有效地干燥。

3. 环形干燥器

运用喷射粉碎机原理,搅拌过的湿、干污泥混合物在一个环形干燥器内被干燥并分类。混合污泥进入一个含有 425～600℃热气体(空气)的环形干燥器内,当污泥固体被干燥后,它们被破碎成可被气流带出干燥器的细粒。

4. 多床层式干燥器

通过使用在床层顶部和底部的燃烧室和下向热气流,一种多床层式燃烧炉可用来干燥湿、干污泥的混合物。从多床层干燥器中出来的出口温度,固体大约是 38℃,气体大约是 162℃。

5. 喷雾式干燥器

在喷雾式干燥系统中,湿污泥喷入一种有热气的下向气流穿过的塔中。另一种方法是运用高速离心式转筒粉碎污泥(粉碎成小微粒),然后将污泥粒子喷入塔中。一般情况下后一种方法会比较有效。

12.5.2　焚烧(Incineration)

可应用热燃烧室干燥和减少污泥的体积和质量。因为焚烧需要辅助燃料去获得和维持较高的温度以蒸发进料污泥中的水分,所以应在焚烧之前采用浓缩技术。污泥焚烧的基本组分以图解法列于图 12.24。

图 12.24　污泥焚烧的组分

污泥焚烧时成本主要是受辅助燃料需求的影响,这种需求是污泥组分(水分、惰性组分和可燃材料)的函数。焚烧室类型、运行要求、空气污染控制需要、地理条件和残渣排放是在选择分析中另外一些重要的考虑因素。

污泥焚烧是两步工艺:采用如过滤器、干燥床或离心机脱水后的干燥和焚烧。主要的设计考虑是燃料和空气需求。同时,要完全反应,必须要确定停留时间、温度和搅动强度。

焚烧室的燃料包括污泥和辅助燃料,如天然气。燃料的热值是根据它的碳、氢和硫的组成确定的。表 12.19 中所示为通过污泥完全燃烧所放出热的相对数量。利用这些数据并知道可燃烧污泥组分,热值可被估算如下

$$Q = 33\,960\,w(C) + 144\,000[w(H) - w(O)/8] + 9420\,w(S)$$

式中:Q 为总热值,kJ/kg;w(C)为碳的质量分数,%;w(H)为氢的质量分数,%;w(O)为氧的质量分数,%;w(S)为硫的质量分数,%。

表 12.19　污泥完全燃烧产物

可燃烧的	化学计算氧需求	产品	可燃物的热值/(kJ·kg^{-1})
C	O_2	CO_2	33 960
$2H_2$	O_2	$2H_2O$	144 000
S	O_2	$2SO_2$	9 420
2CO	O_2	$2CO_2$	10 200
CH_4	$2O_2$	$CO_2 + 2H_2O$	55 590

最好和最准确的确定污泥热值的方法是借助于爆炸量热器。城市废水污泥用爆炸量热器测定的典型热值列于表 12.20。同时,一些辅助燃料的典型热值列于

表 12.20 城市污泥的典型热值

污泥类型	干固体的热值/ (kJ·kg^{-1})
生初沉池,化学沉淀	53 000
生初沉池	23 000～29 000
厌氧消化初沉池污泥	12 000
活性污泥	19 800～23 300
生物滤池污泥	19 800～23 300

表 12.21 辅助燃料的热值

燃料	燃料热值/ (kJ·kg^{-1})
天然气	53 000
汽油	48 100
燃油	43 000
原油	45 400
无烟煤	29 500

表 12.21。

焚烧需要显热和潜热。显热的热量得失是通过与一参考点温度的变化比较而反映出来的。它等于材料的平均比热容[kJ/ (kg·℃)],乘以材料的质量(kg)再乘以温度的变化(℃)。潜热需要状态的变化,在焚烧过程中是水分的蒸发。另外,运行热损失和热回收必须考虑。理想结果是获得在燃烧温度上污泥热值和热损失的一个平衡。这叫做自热燃烧。

必须重视提供低的和相对恒定污泥水分含量的重要性。焚烧室所需起始热量是受水分影响很大。而且由于大约需要 4～5 MJ 的热量去蒸发 1 kg 的水,因而自热燃烧对污泥水分含量的波动变化是十分敏感的。

因为普遍用空气来提供燃烧所需的氧气,所以很明显的理论上空气需要量是所需氧量的 4.35 倍,这是基于空气中含有 23 % (质量)的氧这个事实。依据所用焚烧器和污泥特点,可能需要 20 % 到 100 % 的过量空气用来确保有效的运行。

以下是有关多床层、流化床和旋风式焚烧炉的讨论和设计信息。咨询生产厂家是在任何地点应用任何焚烧炉的前期工作的一部分。

1. 多床层焚烧炉

如图 12.25 所示,多床层焚烧炉是一个垂直筒状反应器,内含有许多水平床层。通过单个中心旋转轴支撑,搅拌臂耙动污泥径向通过床层。当污泥向下移动通过焚烧室时,有一向上流的燃烧空气。多床层焚烧炉的典型设计信息列于表 12.22 中。另外,表 12.23 给出了湿污泥负荷随各种污泥类型(假设没有化学添加

剂)变化的变化范围;较低负荷适用于较小工厂,而高负荷适用于较大工厂。

图 12.25　多床层焚烧炉

表 12.22　多床层焚烧炉设计数据

参　数	典　型　值
直径	2.8～8.45 m
床层数	最多 4～12
燃烧区温度	
正常	815℃
最大	925℃
床层负荷	30～60 kg/(m^2·h)
燃烧空气流	12～13 kg/kg
轴冷却空气流	1/3～1/2 燃烧空气流
过量空气	75%～100%
灰密度	
干的	5.6 kg/m^3
湿的	880 kg/m^3
污泥质量减少	20%～25%

表 12.23 多床层焚烧炉负荷

污泥类型	固体/ %	挥发固体/ %	负荷/ (kg·m^{-2}·h^{-1})
初沉池	30	60	35～60
初沉池 + 20 mg/ L 的氯化铁	16	47	30～50
初沉池 + 298 mg/ L 的低石灰	35	45	40～60
初沉池 + 废活性污泥	16	69	30～50
初沉池 + (废活性污泥 + 20 mg/ L 的氯化铁)	20	54	32～55
(初沉池 + 20 mg/ L 的氯化铁) + 废活性污泥	16	53	30～50
废活性污泥	16	80	30～50
废活性污泥 + 20 mg/ L 的氯化铁	16	50	30～50
消化初沉池污泥	30	43	35～60

焚烧过程发生在多床层焚烧炉的三个区域内。每一区的名字、位置和相应污泥和空气温度都列在表 12.24 中。

表 12.24 多床层焚烧区

区域	位置	典型温度/ ℃	
		污泥	空气
干燥区	上床层	70	425
燃烧区	中床层	815	815
冷却区	下床层	205	175

最广泛应用的污泥焚烧炉就是多床层类型。它的优点是简单、易控制、耐久和运行弹性大。这种反应器能燃烧许多种材料,并且能适应进料率的波动。

2 流化床焚烧炉

另一流行的焚烧工艺是应用一种流化床焚烧炉,如图 12.26 所示。垂直反应器是圆筒形的,里面含有一个沙床和流化空气分配器。污泥进料可进入上部或直接(较普遍)进入沙床。表 12.25 中含有一流化床焚烧炉的典型设计信息。各种污泥的典型湿污泥负荷(假定没有脱水化学添加剂)列于表 12.26 中。

通过将污泥和燃烧空气良好地混合,流化床焚烧炉可同时干燥和燃烧。另外,由于反应器无移动部分,其运行相对较为可靠。

流化床焚烧炉所需补充燃料比多床层焚烧炉少。燃料消耗也由于有一个空气预热器而有所减少。另外,冷却管能浸入床内以实现热回收。一些节约的燃料消耗则由于需要空气污染控制设备而抵消。

图 12.26　流化床焚烧炉

表 12.25　流化床焚烧设计数据

参　数	典型数值
直径	2.7～15 m
高度	6～10 m
温度	
可选择预热	540℃
运行	正常：815℃
	范围：760～1200℃
空气压力	20 700～34 500 N/m^2
过量空气	20%～40%
床负荷	245～290 kg/(m^2·h)
表层床速度	0.6～1.1 m/s
床膨胀	80%～100%
沙有效尺寸	0.2～0.3 mm
沙不均匀系数	1.8
沙损失	每操作 300 小时，5% 床体积
污泥质量减少	25%～35%

表 12.26 流化床焚烧负荷

污泥类型	固体/ %	挥发固体/ %	负荷/ (kg·m^{-2}·h^{-1})
初沉池	30	60	70
初沉池 + 20 mg/ L 的氯化铁	16	47	34
初沉池 + 298 mg/ L 的低石灰	35	45	90
初沉池 + 废活性污泥	16	69	34
初沉池 + (废活性污泥 + 20 mg/ L 的氯化铁)	20	54	42
(初沉池 + 20mg/ L 的氯化铁) + 废活性污泥	16	53	34
废活性污泥	16	80	34
废活性污泥 + 20 mg/ L 的氯化铁	16	50	34
消化初沉池污泥	30	43	70

3. 旋风式焚烧炉

若应用在较小的废水处理厂,可实现小型化的旋风式焚烧炉是一种可行的干燥系统。旋风式反应器使燃烧空气切向进入圆筒状燃烧室,同时污泥被径向喷向室的热壁上。燃烧发生十分激烈足能使污泥不黏于壁上。旋风式焚烧炉也可作为满足大量污泥干燥需要的可行焚烧炉选择。

12.5.3 热解(Pyrolysis)

一个可控燃烧工艺的选择是热解,它是一种有机固体在缺氧环境中高温裂解的工艺。热解系统尚处在开发阶段,但已显示了免除空气污染问题和比传统工艺产生更多的有用副产品的优点。一些生产厂家当前已有可供应的设备系统。

三种热解产品是气体(大部分是甲烷)、液体(油)和固体(炭)。通过控制反应器中温度、压力和停留时间,这些产品的组成和合成物可能会有变化。在随后的工艺中,这些热解产品或成为副产品,或在有氧条件下被燃烧裂解。典型热解系统将包括一个多床层炉和一个用于尾气燃烧和气味控制的后燃室。

12.5.4 缺空气燃烧(Starved Air Combustion)

为了从热解中获得某些益处,污泥的缺空气燃烧所利用的装置和工艺流程除了比完全燃烧所需更少的空气(或纯氧)外,与典型的焚烧系统类似。炭是或多或少的残留炭,这取决于所提供空气的数量。利用较少空气也可比焚烧更能增加工艺过程的热效率,并且尾气处理的消耗也更少。

缺空气燃烧减少污泥体积和提供一种无菌的残留物。同时,它产生一种热值尾气,这种尾气适合在后燃室或锅炉中燃烧。

一般的,多床层炉可被用于三种模式之一,这些模式利用温度范围各异并产生不同残留物特征。这些方式是:

①低温炭。它产生一种具有高灰含量的类炭残留物。

②高温炭。它产生一种被转化为固定碳和灰的类炭残留物。

③炭燃烧。它反应掉所有碳并产生作为残留物的灰分。

对含有 22% 固体的污泥,每床负荷变化范围为 9～15 lb/(ft^2·h)[45～75 kg/(m^2·h)]。

12.5.5　湿式氧化(Wet-air Oxidation)

湿式氧化工艺是在高的水温度和压力下氧化挥发性污泥固体的。依据氧化需要的程度,压力需求变化范围可从 0.1～20 N/m^2,但典型的变化范围是从 6.7～11.7 N/m^2。在选定的运行压力下,液态水的温度可以在 120～370℃之间变化。

作为齐姆普罗法工艺而著名的湿式氧化工艺因其相对高的系统成本限制了在传统污泥处理方面的应用。然而,这种系统的确具有有效处理浓废水流或低固体含量污泥的优点。这种工艺不需要初级干燥和脱水,而这在传统燃烧工艺是必须的。

第六节　残余物排放
(Residual Disposal)

污泥处理系统的设计必须包括一个对最终污泥残留物的处理方法。由于向海洋倾倒已有法规限制,最终处理一般包括一些应用于土壤的类型并经常需将污泥运离废水处理厂区。残余物处理的方法取决于污泥特点、地理条件和政府规定。

最普通的残余物处理方法是卫生填埋、农业土地应用和用作土地回垦。其他处理方式有化学固定和深井注射。

视残留污泥的容积和离处理点的距离,运输的考虑和费用可能十分可观。液态污泥也许可以使用管线、驳船或铁路,车辆可用来运输脱水污泥。绝大多数情况下,仅管线或卡车可能提供到达最终处理地点的运输。因为卡车对目的地适应性强,相对小的成本消耗和能运送液态及脱水污泥的能力,它们应用十分广泛。表 12.27 中提供了多种污泥运输方式的清单。

表 12.27 污泥运输清单

1. 污泥特点
   a 数量:最大,平均,最小
   b 固体含量
   c 可能的恶臭
2. 管线
   a 选择路线考虑
   b 距离
   c 高度变化
   d 运行程序
   e 管线选择(速率,最大和最小尺寸,材料,摩擦损失,腐蚀控制)
   f 泵设备(泵站数目和位置,泵的数目和类型,泵能量,站结构,站设施,控制)
   g 管线清洁设施
   h 紧急情况运行(存储,备用动力)
   i 挖掘条件(土壤状况,其他地下设施,高速公路,铁路十字口)
   j 路权获得方式(已存在的设施通行权,与土地所有者协商,宣告)
3. 卡车
   a 选择路线考虑
   b 牵引距离、速度和旅程时间
   c 设定路线与现存道路和交通的适合性 [质量和高度限制,拐弯要求,速度限制,交通拥挤,路线宽度,高度变化,交通控制(停止通行等)]
   d 运行时刻表(装载时间,牵引时间,卸载时间,回程供油时间和日常维护)
   e 燃料消耗
   f 劳动力需求
   g 卡车选择与获得
   h 考虑承包牵引
   i 设备需要(装,卸,车辆维护,燃料,停,洗,污泥储存)
4. 驳船
   a 牵引距离
   b 驳船速度和运程时间(交通,吊桥,阻塞,涨潮,急流和高度限制)
   c 操作时刻表(装载时间,牵引时间,卸载时间,返回时间)
   d 驳船选择,获得和/ 或牵引船获得(被牵引或自推进,类型,尺寸,数量,使用寿命,买,租)
   e 合同牵引考虑(牵引或完全操纵)
   f 人力需求
   g 燃料消耗
   h 设备需要(装,卸,驳船和牵引船维护,供油,码头,冲洗和污泥储存)
5. 铁路
   a 距离
   b 速度,装量限制因素和运程时间(清洁限制,轨迹状况,交通时刻表)
   c 运行时刻表(装,牵引,卸和返回次数)
   d 车的选择和获得(类型,尺寸,数量,使用寿命,买,租或铁路所有)
   e 燃料消耗
   f 用工需求
   g 设备需要(装,卸,罐车维护,储存和清洗,污泥储存,旁路伸展)
6. 环境影响(空气,土地,地表水,地下水,社会,健康,经济,历史,考古学的影响和环境敏感区域)
7. 规定和标准
   a 地表水保护
   b 污泥装与卸
   c 航海水路的开辟
   d 建筑类型
   e 报告漏失
   f 许可

储存也是一个重要设计考虑内容和成本因素。如果牵涉到机动系统时,必须保证有足够的设施用于维护和发生出乎预料的事件时的备用。对于土地应用方式、气候和可达地点的影响也必须是设计考虑内容的一部分。

12.6.1　污泥的利用和处理(Use and Disposal of Sludge)

根据 1987 年的清洁水法,美国国会指示政府环境保护机构(USEPA)颁布了污泥利用和排放的技术标准,并强调鉴别污泥中可能影响公共健康和环境的有毒污染物,结果产生了 50 CFR 503,它规定了 12 种污染物的具体限度(砷、铍、镉、铬、铜、铅、汞、钼、镍、硒、锌和总烃)。

所影响到的是那些需要有一个被批准的工业废水预处理程序或被 USEPA 指定为一流的市镇系统;是那些有一个大于一百万加仑的设计流量或服务于 10,000 或更多居民的市镇系统。规定也适用于买卖和利用污泥的个人。而且,每州需要采纳的标准至少要与联邦政府的规定一样严格。

污泥利用和排放被综合为三种方式:土地利用,地表排放和焚烧。具体利用和排放方式,包括农业应用、废地回垦和填埋。监测和记录保持的要求包含在规定的每一部分。

40 CFR 503 规定含有五个基本部分,主要涉及总则、土地利用、地表处理、致病菌和减少对蚊蝇等带菌体的吸引、焚烧。土地利用、地表处理和焚烧部分规定了污染物限制、管理措施、运行的标准以及每一实践的监测和记录保持等。致病菌和消除对蚊蝇等带菌体的吸引部分则分别讨论定义和实施可考虑到的能够达到病菌消除和减少处理污泥的对蚊蝇等带菌体的吸引潜力的方法。每一部分的一些具体规定是:

A 部分——总则。

B 部分——土地利用。这一分部分包括污泥和污泥产品的分布和市场,农业应用和非农业应用,以及污泥产品。

①污染物浓度低于规定限制的“干净”污泥可以作无记录土地应用。其他污泥则只能用于有记录的土地利用。

②用作污泥利用的土地必须确定为没有超过规定中限定的积累污染物负荷限制。

③在农业和非农业上的应用必须不超过土壤和蔬菜所能吸收的污泥组分的负荷。

④如果径流能够污染地表水,那么污泥不能用于水涝、冰冻或雪盖的土地。

⑤市场销售的污泥必须符合一级病原菌杀灭和降低吸引蚊蝇等带菌体的需求。

⑥包装污泥必须标明制备者姓名,并包含应用限制信息。

⑦污泥衍生产品可与其他材料混合以满足污染物限定要求。

C 部分——地表处理。这部分包括专门的非农业应用和单填埋以及容纳污泥至少两年的储存地点。

①污泥污染物限制依据是是否排放区加了衬里,有一个沥出收集系统以及污泥应用区与场地边界有一定距离。

②场地必须被很好管理以防止地下水和其他环境污染,要限制公共进出,并禁止作物或饲料的食用,除非公共健康得到了保护。

③有关当局可能会作为个案批准某些污染物限制的突破。

④地下水质量必须监测。

D 部分—病原菌和带菌体引诱消除。列出了 USEPA 将接受的病原菌消除和避免所列疾病携带者的引诱的方法。A 级和 B 级病菌消除标准被确定。

①A 级污泥的大肠菌密度低于 1000/ g 总固体,或者每 4g 总固体少于 3 个沙门氏菌、1 个病毒或 1 个寄生虫卵。

②B 级污泥的大肠菌密度(不少于七个样品的几何平均值)低于 200 万/ g 总固体。

③两级污泥必须表明通过测试达到了标准以上,或者它们是利用现已证明了的有能力达到标准的工艺过程。

④带菌体吸引消除必须采用规则规定的七种方法之一和隔离方式。

⑤显著消除病菌工艺(PSRPs)和进一步消除病菌的工艺(PERPs)包括在选择条目中。

E 部分——焚烧。这些要求基于每一设备的性能测试。进料速度取决于每一处理厂的所有焚烧炉(总能力)。

①将被焚烧的污泥的总烃(THC)限制为 100 mg/ kg。

②铍和汞的含量必须依据 40 CFR 61 中的国家排放标准。

③进料污泥中的砷、镉、铬、铅和镍的限制由场地具体情况确定。

④继续监测水分、氧、温度和 THC 是需要的。

各种排放方法的监测、记录保持和报告等方面的可能有所不同,但还是有一些共同的要求,包括:

①监测必须在规定生效后 120 天开始。

②记录必须被保持五年。

③年度报告必须提交到批准机构。

市镇固体废物填埋处排放污泥有关规定在 40 CER 60 和 258,有害污泥规定被列在 RCRA,40 CFR 261 到 268 中,含有超过 50 mg/ kg 的 PCBs 的污泥必须依据 TSCA 规则,即 40 CFR 761。

12.6.2　填埋(Landfill)

污泥在接受垃圾的卫生填埋区或专用填埋处的填埋处理是残留污泥处理实践中应用最广泛的方法。表 12.28 提供一个污泥填埋设计考虑内容清单。传统卫生填埋、掘沟填埋、空地填埋和筑堤封闭将在这部分讨论。

表 12.28　污泥填埋清单

1. 污泥特征:
   a 处理厂的工艺类型
   b 数量:最大,平均,最小
   c 分析(浓度,颗粒特征,易挥发的成分,氮,无机离子,病原体成分,有毒有机化合物,pH)
2. 规则和标准(污泥稳定性,污泥负荷和盖子厚度,到道路、住处、地表水的距离,监测,道路,许可)
3. 场地特性:
   a 场地的选择
   b 土壤(深度,质地,结构,体积密度,孔隙,渗透性,潮湿,挖掘的难易,稳定性,pH,阳离子交换能力)
   c 地下水文学(地下水:位置,范围,利用,地质构成和不连续性,地表岩层)
   d 气候(降雨,蒸发,温度,结冰的天数,风向)
   e 土地利用(现在、最后、相邻的产业)
4. 填埋方式
   a 仅用于污泥的掘沟填埋
     (1)窄沟;(2)宽沟
   b 仅用于污泥的空地填埋
     (1)堆垛;(2)分层;(3)筑堤封闭
   c 与垃圾一同填埋
     (1)污泥垃圾混合;(2)污泥土壤混合
5. 填埋设计
   a 沟或空地的尺寸
     (1)长度;(2)宽度;(3)深度
   b 隔堤尺寸
   c 沟或空地的空间
   d 污泥厚度
   e 中间层盖的厚度
   f 最后层盖的厚度
   g 膨胀剂
   h 膨胀率
   i 土壤进口
6. 设施
   a 沥出控制(足够的地表排沟,自然减弱,土壤衬垫,膜衬垫收集和处理)
   b 气体的控制(能透过的方法,不能透过的方法,气体抽取)
   c 道路
   d 土壤储存
   e 险恶天气地区
   f 辅助设施(构筑物,工具,围栏,照明,冲刷,监测井,园林设计,燃料,储存和维护)
7. 填埋设备(挖掘,污泥处置,回填,分级,道路建筑)
8. 劳动力需要
9. 灵活性和可靠性(扩展的可能,由于污泥体积或类型的改变做修正,设备故障,存储)
10. 环境的影响(空气,土地,地表水,地下水,社会,健康,经济,历史,考古的影响,环境敏感地区)

不同处理工艺所得污泥填埋适应性的评估列于表 12 29 中。同样,当地土壤的适应性也必须被考虑。另外,对于重金属的处理,pH 和阳离子交换量(CEC)等也非常重要。这将在这部分关于污泥在农业土地应用中讨论。

表 12.29 污泥填埋的适用性

工艺	污泥类型	污泥单独填埋		混合填埋	
		适用性	原因	适用性	原因
浓缩					
重力	初沉池污泥	不适用	有臭味,难操作	不适用	有臭味,难操作
	废活性污泥(WAS)	不适用	有臭味,难操作	不适用	有臭味,难操作
	初沉池污泥和 WAS	不适用	有臭味,难操作	不适用	有臭味,难操作
	消化初沉池污泥	不适用	有臭味	基本适用	有臭味
	消化初沉池污泥和 WAS	不适用	有臭味	基本适用	有臭味
浮选	初沉池污泥和 WAS	不适用	有臭味,难操作	基本适用	有臭味,难操作
	带化学物的 WAS	不适用	有臭味	不适用	有臭味,难操作
	不带化学物的 WAS	不适用	有臭味,难操作	不适用	有臭味,难操作
处理					
好氧消化	初沉池污泥,浓缩过的	不适用	有臭味,难操作	不适用	有臭味,难操作
	初沉池污泥和 WAS,				
	浓缩过的	不适用	难操作	基本适用	难操作
厌氧消化	初沉池污泥,浓缩过的	不适用	难操作	基本适用	难操作
	初沉池污泥和 WAS,				
	浓缩过的	不适用	难操作	基本适用	难操作
焚烧	初沉池污泥,脱水过的	适用	—	适用	—
	初沉池污泥和 WAS,				
	脱水过的	适用	—	适用	—
湿式氧化	初沉池污泥或	不适用	有臭味,难操作	基本适用	有臭味,难操作
	初沉池污泥和 WAS				
热处理	任何浓缩的污泥	不适用	有臭味,难操作	基本适用	有臭味,难操作
石灰稳定	初沉池污泥,浓缩过的	不适用	难操作	基本适用	难操作
	初沉他污泥和 WAS,	不适用	难操作	基本适用	难操作
	浓缩过的				
脱水					
干化床	任何消化过的	适用	—	适用	—
	任何石灰稳定的	适用	—	适用	—
真空过滤	石灰调节过的初沉池污泥	适用	—	适用	—
	消化过的石灰调节过的	适用	—	适用	—
加压过滤	消化过的石灰调节过的	适用	—	适用	—
离心	消化过的	适用	—	适用	—
	消化过的石灰调节过的	适用	—	适用	—
加热干燥	消化过的	适用	—	适用	—

地下水监测是任何污泥填埋操作的一个不可分割的部分。监测井用于建立原始地下水质量,在填埋操作期间提供监督和封闭后对场地进行监测。一种典型的监测井示于图 12.27 中。如果需要在许多个深度取样,就需要打一群井,如图 12.28 所示。

1. 卫生填埋

污泥可以独自或与其他废弃物一起被运去进行卫生填埋。设计这样系统时必须考虑到国家和地方的有关法规。应该采取防范措施以减少来自填埋地带的渗透和径流,这是为了防止土地和地表水的污染。当一部分场地已经完成填埋时,就需要种草及其他方式来防止侵蚀。

在填埋地,稳定的或未稳定的污泥可与废弃物混合,这已成为日常操作的

图 12.27　典型垂直单一间距检测井

图 12.28　典型的探测井群构成

一部分。地方要求将定义一个有效运行计划的要点和协调合作的必要性。

一个可选的污泥处理技术是将稳定污泥与土壤混合作为中间层或最终层覆盖于完成填埋的场地上面。这种方法的优点是它不仅是一种污泥处理方法,而且它的肥效特征可用来促进提高盖于填埋场地之上的植物生长。

在填埋地的污泥—废物和污泥—土壤混合物的操作的典型设计数据见表 12.30。对于每一方法,我们都应注意缩小恶臭的发展和其他令人讨厌状况的发生。

表 12.30 卫生填埋设计数据

参 数	污泥-废弃物	污泥-土壤
污泥固体含量	至少 3 %	至少 20 %
地面坡度	低于 30 %	低于 5 %
废弃物与湿污泥比率		
3 % ～10 % 固体	7∶1	—
10 % ～17 % 固体	6∶1	—
17 % ～20 % 固体	5∶1	—
20 % 以上固体	4∶1	1∶1
覆盖土壤厚	中间 0.15～0.3 m;最终 0.6 m	可能不需要
污泥施用	900～7900 m^3/hm^2	3000 m^3/hm^2
设备	履带推土机	拖拉机

2 掘沟填埋

掘沟填埋是一种填埋工艺,在那儿稳定或未稳定的污泥被放进一个挖好的沟里并盖上土壤。渗透控制方式可能包括隔板或嵌入不可透过的土壤或一个渗透收集和处理系统。

掘沟填埋工艺被广泛应用,当沟宽少于 3 m 时它被分类为窄沟,当其宽度大于 3 m 时为宽沟。两种类型的典型设计数据和装置要求列在表 12.31。

表 12.31 填埋沟设计数据

参 数	窄 沟	宽 沟
宽度	少于 3 m	大于 3 m
污泥固体含量	1 m 以下的 15 % ～20 %; 1 m 或更宽 20 % ～28 %	以土地为基础 20 % ～28 %; 以污泥为基础大于 28 %
地面坡度	低于 20 %	低于 10 %
覆盖土壤	宽 1 m 以下的 0.6～1 m; 1 m 以上的 1～1.2 m	以土地为基础 1～1.2 m; 以污泥为基础 1.2～1.5 m
污泥利用率	1200～5600 m^3/hm^2	6000～27200 m^3/hm^2
设备	挖掘机,挖沟机等	履带装载机,履带推土机等

在窄沟中污泥处理涉及的污泥应用是在一单层污泥上随后再加一层土壤覆盖。在宽度是 0.6 到 1 m 的沟中,应用的可以是相对低固体含量(15 % ～20 %)的

污泥。在窄沟中,盖土将桥架于污泥上面。窄沟填埋的缺点是它为土地集中型,较低的应用率和实践上基本不安装衬里。

高固体含量污泥用于宽沟中是为了能支持盖土。在宽沟污泥处理系统中,设备一般在(挖的)沟里面操作。当一条长而连续的沟被应用,会建造堤坝以限制污泥在特定区域。用这种处理方法需要污泥固体含量大于 20 % 。

对于窄沟和宽沟两种填埋系统,必须计算沟和土地利用率。同时,污泥利用率和场地寿命也是重要设计考虑内容。

3. 空地填埋

将污泥放于地上并盖上土壤的污泥处理操作称为空地填埋。一种巨大的介质,通常是土壤,用来吸收水分和改善污泥的可使用性并使填埋层达到稳定和具有支撑能力。需要有设备进行地表排水,并且为了地下水的保护有必要加衬里。

有两种空地填埋方法:堆垛和分层。在表 12. 32 中给出了相对新的污泥填埋方法的典型数据和设备。

表 12. 32　面填埋设计数据

参　　数	空地填埋堆垛	空地填埋分层
污泥固体含量	至少 20 %	至少 15 %
地面坡度	如果适当准备了,那么无限制	平坦较好
土壤与污泥比率		
15 % ～20 % 固体	—	1:1
20 % ～28 % 固体	2:1	0. 5:1
28 % ～32 % 固体	1:1	0. 25:1
大于 32 % 固体	0. 5:1	不需要
覆盖土壤厚度	0. 9 m(中间)	0. 15～0. 3 m(中间)
	0. 3 m(最终)	0. 6～1. 2 m(最终)
污泥利用率	5630～26300 m^3/hm^2	3750～16900 m^3/hm^2
提升厚度		
15 % ～20 % 固体	—	0. 3 m
超过 20 % 固体	1. 8 m	0. 6 - 0. 9 m
提升数量		
超过 15 % 固体	—	1～3
20 % ～28 % 固体	最大 1	—
大于 28 % 固体	最大 3	—
设备	履带装载器,推土机等	履带装载器,推土机等

在堆垛填埋中,稳定的污泥和填充剂混合在土垛中有大约 2 m 高,加覆盖物。当所有的污泥应用后,加一土壤覆盖层。

分层填埋方法涉及到将稳定或不稳定的污泥和填充剂混合在分布到 0. 15～

1m 厚的土层中。在层与层之间应加一个临时的覆盖物,最后在场地加一总覆盖物是必要的。

以上两种方法,污泥与填充剂比率和覆盖土壤的厚度取决于污泥的固体含量和污泥及当地土壤的一般特性。

4. 筑堤

运用筑堤封闭技术,稳定和未稳定的污泥也可以被利用在地表。典型的设计数据在表 12.33 中。

表 12.33 筑堤封闭设计数据

参 数	土地基础设备	污泥基础设备
污泥固体含量	20%～28%	大于 28%
地面坡度	如准备好,无限制	
土壤污泥比率	0.5:1	0.25:1
覆盖土壤厚度	0.3～0.6(中间)	0.6～0.9 m(中间)
	0.9～1.2(最终)	1.2～1.5m(最终)
污泥利用率	9100～28400 m^3/hm^2	9100～28400 m^3/hm^2
提升厚度	1.2～1.8 m	1.8～3 m
提升数量	1～3	1～3
设备	索斗挖掘机,履带装卸机等	

污泥利用系统的设计包括(见表 12.34):污泥来源和组成、土壤特征、气候、植被、地形、农业实践或改良目标的考虑。(所有的因素应该在运行过程中被监测以保证维持一定的利用率)年污泥利用率在 1 到大于 225 mg/hm^2 之间。

表 12.34 污泥土地利用清单

1. 污泥特征:
   a 处理厂所用的工艺类型
   b 数量:最大,平均,最小
   c 分析(浓度,颗粒特征,易挥发的成分,氮,磷,钾,重金属,病原体成分,pH)
2. 类型
   a 庄稼利用(作物选择,利用方法)
   b 专用排放(使用方法,耕作需要)
   c 土地开垦(当地条件,土壤-污泥反应,使用方法,耕地,其他要求)
3. 地点特征
   a 地形(应用方法限制,潜在侵蚀,作物兼容)
   b 径流控制(临近区域,当地,泥石流所加的污泥数量,沟渠断流,分流)
   c 土壤(土壤保持服务土壤图;土壤特性:位置,物理性质,pH, CEC,重金属)
4. 设计标准
   a 气候因素(降雨:数量,持续时间,季节变化;风速风向;温度变化)
   b 负荷率
      (1)金属(背景值,交换容量,)
      (2)氮(氮存在组成,无机转化率)

续表

c 作物
(1)养料吸收(氮,磷,钾,微量成分)
(2)应用兼容性(耕地要求,播种收割时间,可以在生长的作物和草料上应用吗?叶子曾经被水洗过吗?)
(3)收割要求(一年一次, 一年多次,不断或间断收割)
5. 系统构成
a 脱水(固体百分比,所用的化学物)
b 田地设备(和作物兼容,和污泥共存,潮湿,与天气适应)
c 存储(开放,或覆盖;与非运行期的匹配能力,各种令人讨厌情况的防范)
d 缓冲区(尺度,所提供植物,篱笆)
6. 监控
a 土壤(pH, 养料,病原体,重金属)
b 作物(收成,组织分析,疾病控制)
c 水质(BOD, SS, 营养物,大肠杆菌类等)
7. 可靠性和灵活性(扩展的可能性,存储,替代污泥管理技术)

由于地下水硝酸盐污染的可能性,氮是污泥利用的主要限制因素,痕量金属和病原体也是重要的组成部分。在表 12 35 中列出了城市污泥中的典型金属浓度。保持 pH 在 6.5 或更大时会缓解重金属的作用。

表 12 35　污泥中典型的金属含量/ ($mg \cdot kg^{-1}$)

金属	范围	平均	中值
砷	10～15	9	8
钡	> 3000	1460	1300
硼	200～1400	430	350
镉	> 1100	87	20
铬	22～30000	1800	600
钴	> 800	350	100
铜	45～16030	1250	700
铅	80～26000	1940	600
锰	100～8800	1190	400
汞	0.1～89	7	4
镍	> 2800	410	100
硒	10～180	26	20
银	> 960	225	90
锶	> 2230	440	150
钒	> 2100	510	400
锌	51～28360	3843	1800

5. 农业土地利用

当有土地可用和土壤条件可接受时,污泥可在农业土地利用。但是,在利用中必须小心农作物可能给人类带来的危害。

土壤特征决定一个特别的区域污泥应用的可行性。好的土壤有较高的渗透率,能提供充足的水分和保持养料的能力,能较好的排水通气,pH 在中性或碱性。

因为城市污泥包含植物所需的养分,所以污泥能用来提供大多数庄稼所需要的氮和磷和一些钾。例如,消化过的初沉池和废活性污泥中包含了(25 % 的干重):

氮	3.5 % ～6.4 %
P_2O_5	1.8 % ～8.7 %
K_2O	0.24 % ～0.84 %

并且,污泥中含有的土壤中通常较缺少的痕量元素能提高农作物和饲料的价值。例如,动物食物中痕量元素锌、铜、镍、铬和硒就比较缺少。

在污泥的处理和应用过程中,对病原体的控制是相当重要的。由于病原体能在消毒过程中成活,因此,在人类消费的农作物田地排放污泥是禁止的。然而在大多数污水处理过程中产生的污泥能被用于农田,但这种技术取决于接受者的使用和兴趣。

对于农业地区,污泥应用率是很低的。作物的选择和污泥应用技术决定污泥施用率。举例来说,为补充氮,液态消化污泥可能需要施用 10～20t/ hm^2。为补磷而施用的污泥比较低。

对于农业土地,典型的设计计算应包含以下四步:氮的平衡;金属积累;养分平衡;使用效率。

为计算氮的平衡,首先要分析污泥中的有机组成以及铵和硝态氮的浓度。而且,作物对氮的需要取决于要获得的作物产量(见表 12.36)。最后,先前使用的有机氮转化为无机的数量和现在所用的氮的数量必须被鉴定。有机氮转化为作物所能吸收的铵和硝酸盐也要考虑在内(见表 12.37)。

预计的氮平衡可以通过施加所缺的部分而达到,这里施加量表达为 t/ hm^2;所需的污泥量是要求的氮除以污泥中氮的百分数;因此,是污泥干重的利用率,用 t/ hm^2 表示。

对于给定的土壤,CEC(阳离子交换能力)用来表示重金属的最大容忍量;在表 12.38 中有 3 种土壤类型的数值。如果土壤的 pH > 6.5,可采用表 12.39 的最大值。金属浓度是可积累的。

在氮平衡中运用污泥使用率,金属积累的影响可被计算出来。如果金属超过土壤的 CEC,使用率将下降,氮平衡要重新计算。随着污泥中氮负荷量下降,需要补充氮,否则必须接受产量的下降。

表 12.36　作物每年所需的氮、磷、钾

作物	产量/ [t·(hm²)⁻¹]	氮/ [kg·(hm²)⁻¹]	磷/ [kg·(hm²)⁻¹]	钾/ [kg·(hm²)⁻¹]
玉米	5.4	185	35	178
	6.5	240	44	199
玉米青储	32	200	35	203
大豆	1.8	257	21	100
	2.2	336	29	120
高粱	4	250	40	166
小麦	2.2	125	22	91
	2.9	186	24	134
燕麦	3.6	150	24	125
大麦	3.6	150	24	125
苜蓿	8	450	35	398
鸭矛	6	300	44	311
雀麦草	5	166	29	211
牛尾草	3.5	135	29	154
牧草	3	200	24	149

表 12.37　土壤中污泥降解残留氮的释放

污泥施用后年数	污泥中的有机氮相对于干固体的百分数/ %						
	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
	每施加 1t 污泥释放的氮/ kg						
1	2.0	2.4	2.8	3.4	3.8	4.4	4.8
2	1.8	2.4	2.8	3.2	3.6	4.2	4.6
3	-	2.2	1.3	3.0	3.4	4.0	4.4

表 12.38　不同类型土壤中典型的阳离子交换范围

土壤类型	CEC 范围/ [meq·(100g)⁻¹]
沙土	1～10
粉沙壤土	12～20
黏土和有机土壤	20 以上

表 12.39　农业土壤中允许的污泥金属总量

金属	土壤中阳离子交换容量/ [meq·(100g)⁻¹]		
	0～5	5～15	15 以上
	金属含量/ [kg·(hm²)⁻¹]		
Pb	560	1120	2240
Zn	280	560	1120
Cu	140	280	560
Ni	56	112	224
Cd	6	11	22

除氮之外,为保证指定的作物收成有足够所需的营养物质,磷和钾的负荷也要计算,一种或更多的补充可能是必要的。

由于污泥会随着水含量变化而变化,所以先前的计算必须是干重。因此,正确的污泥利用率用单位面积的体积来衡量。

6. 土地开垦

在贫瘠的土地上使用污泥能提高土地的质量,但应该小心的是防止浸出液的污染。土地开垦应和用作农业方面的土壤遵守同样的规定。若规模较小,脱水的污泥可被当地的居民利用作土壤调节剂。

在土地开垦中污泥的使用率很高。在依据施用的可行性和场地的管理技术地形来设计时应充分考虑地形因素。例如,陡峭的斜坡(超过 5%)和低地要特别的注意。而且过高的污泥使用率会导致过多的氮、痕量元素或其他的污泥组分的积聚,所以需要进行监测并且有好的污染管理实践。这包括:

①污泥、土壤和作物中的痕量元素组成。

②污泥、土壤和作物中的氮含量,对含水层的潜在的硝酸盐污染。

③在生吃的水果和蔬菜上只使用消毒过的污泥。

④土壤的水力过载。

⑤土地的最终使用。

⑥控制径流和侵蚀的经验。

12.6.3 化学物质固定(Chemical Fixation)

对于包含有毒的废弃物的污泥的处置,化学固定可能是最终的处理选择。但考虑到花费较高,在大多数的污水污泥的处理中这不是一个很可行的选择。

这一过程牵涉到污泥和化学物混合从而使污泥固化以防止污染物的浸出,可以使用硅酸盐水泥和其他商业性的化学物质。

参考文献

贝尼菲尔德等著. 邢建等译. 1984. 废水生物处理过程设计. 北京:中国建筑工业出版社

崔玉川等. 1994. 废水处理工艺设计计算. 北京:水利电力出版社

冯生华. 2001. 城市中小型污水处理厂的建设与管理. 北京:化学工业出版社

高廷耀. 1999. 水污染控制工程. 北京:高等教育出版社

顾夏声等. 1990. 水处理工程. 北京:清华大学出版社

贺延龄. 1998. 废水的厌氧生物处理. 北京:中国轻工业出版社

钱易,米祥友. 1993. 现代废水处理新技术. 北京:中国科学技术出版社

上海市环境保护局. 1999. 废水物化处理. 上海:同济大学出版社

卫斯理·W 著. 姚重华等译. 1991. 工业水污染控制. 北京:华东化工学院出版社

Girling R M. 1969. Practical Methods for Determining Sewage Flow for All Communities. Water and Sewage Works, 7:250～258

Gordon M Fair, John C Geyer, Daniel A Okun. 1971. Elements of Water Supply and Wastewater Disposal. New York: Wiley

Metcalf Eddy Inc. 1979. Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse (2nd. ed.). New York: McGraw-Hill

Robert A Corbitt. 1998. Standard Handbook of Environmental Engineering (2nd. ed.). New York: McGraw-Hill Handbooks

第十三章　污染修复技术

在环境工程领域,除了清洁生产这种在工业生产过程中控制污染的产生以及在排污口和污水处理厂进行末端治理这些污染控制方法;对于已经进入生态圈的污染物,采用常规手段已不能取得效果,必须应用环境修复技术(environmental remediation)。

有毒有害的污染物质由于在人工环境(例如工厂、污水厂)没有得到有效去除,这样它不仅存在于地表水中,而且通过径流和潮汐渗透进入到土壤和地下含水层中,如大量使用化肥和农药、工业废水的不达标排放、固体废弃物,特别是有毒有害的固体废弃物的堆放和填埋所引起的有毒物质泄漏、工业和交通中的事故性排放,都造成污染和二次污染。这些有毒有害的污染物经由食物链进入人体,直接危害人类健康。

简单地说,通过物理的、化学的、生物的方法将土壤、地下水、海洋中的有毒有害污染物吸收、转化或分解,从环境中去除的技术,就是污染修复技术。

第一节　修复对象与污染物
(Remediation Targets and Pollutants)

地下水和土壤中的污染物种类繁多,性质各异。在进行修复工作之前,首先要调查污染物的种类和性质。

美国技术评价办公室收集整理出 200 多种在美国的地下含水层中检测到的污染物质,包括有机污染物、无机污染物、生物有机物和放射性物质,如表 13.1。

表 13.1　典型的地下水污染的调查总结

化合物种类	种类数量	典型污染物	排放前的用途
芳香族碳水化合物	33	苯,甲苯,乙苯	染料,溶剂
含氧的碳水化合物	24	丙酮,1,4-二氧苯酚	溶剂,涂料,油漆
含特殊元素的碳水化合物	103	三氯乙烯 三氯乙烷 三硝基甲苯	农药,溶剂,炸药
其他碳水化合物	15	煤油,汽油,木质素和鞣酸	燃料
金属和阳离子	27	离子,铬,砷	合金,电子业,电力业
非金属和阴离子	10	氧,硫,氨	肥料,食品添加剂
微生物	2	细菌和病毒	
放射性核素	19	铀 238 氚 镭 226	医学用途 示踪剂

(美国 OTA, Rittmann 等,1994)

尽管上表所列的污染物质是工业、农业、商业和家庭广泛使用的,但我们还应认识到,还有可能遗漏或忽视其他污染物质。在取样时,没能抽取岩层样品而只抽取地下水样品会导致强调那些易于迁移的污染物而忽视那些附着在岩层上不易迁移的污染物。此外,污染物质的监测通常也会被取样步骤、分析方法和仪器条件所限制。一些非技术因素,例如公众和政府的意见也会影响监测结果的公布。

13.1.1　有机污染物(Organic Pollutants)

有机污染物在土壤与地下水中最常见,而且用生物修复方法也容易被处理。美国环境质量委员会列出了在饮用水取水井中经常会检出的 30 余种有机污染物,如表 13.2。

表 13.2　含水层中典型的 33 种合成有机化学品

三氯乙烷	四氯化碳	二溴氯苯
己苯	苯	氯乙烯
三氯乙烷	1,2-二氯乙烯	氯苯
亚甲基氯	溴化乙烯	γ-BHC
二恶烷	二甲苯	Δ-BHC
己苯	异丙基苯	1,1,2-三氯乙烷
四氯苯	1,1-二氯乙烷	1,1-二氯乙烯
环己烷	1,2-二氯乙烷	溴仿
氯仿	三氟三氯苯	α-BHC
四氯乙烷	二溴氯丙烷	对硫磷

(美国 OTA, Rittmann 等,1994)

这些有机污染物来源广泛,可能来自废水的土地利用、垃圾场、家庭废物、地表径流、油气生产井等。它们主要是多环芳烃类(PCBs)与多氯联苯(PAHs)类物质,基本上疏水,辛醇/水分配系数相当高,有些还有着较高的挥发性。表 13.3 列出了简单的 PAHs 物质的特性。

表 13.3　简单 PAHs 物质的特性

指标 / 环的个数	K_{OW}	水溶性/ $(mg \cdot L^{-1})$
2	33	3.1
3	4.6	1.1
4	4.5	0.075
5	6.1	0.0038

PAHs和 PCBs 不易迁移,虽然它们的低水溶性使得它们在水中的含量不高,但同时也会让它们在土壤沉积物中长久地被吸附,在生物体内富集。

13.1.2 混合的有机污染物(Mixtures of Organic Compounds)

在很多情况下,商业产品的一系列相关组分共同造成了污染。一个典型例子就是蒸馏石油而得到的用以做燃料和润滑剂的多环芳烃类物质(PCBs),以及在焦油,沥青和石油渣里检测到的 PAHs。一种最常见的 PCBs 混合物——Arochlor1242(总体上含有 42% 的氯),是由 1～6 个 Cl 取代基组成,其中 3、4、5 个取代基的联苯占 80%。取代氯基团多的 PCBs 的水溶性更高。

表 13.4 列出了石油蒸馏所得典型的组分,尽管蒸馏组分比原油组分来说有着一致的性质,但它们的相对分子质量、水溶性和疏水性还是相差很大。

表 13.4 石油典型的成分

沸点范围/ ℃	碳的数量	用 途
20 以下	C_1～C_4	天然气,瓶装煤气,石油化学品
20～60	C_5～C_6	石油醚,溶剂
60～100	C_6～C_7	木质素,溶剂
40～200	C_5～C_{10}	直链汽油
175～325	C_{12}～C_{18}	煤油和航空燃料
250～400	C_{12}以上	燃料油,柴油,气态油
不挥发液体	C_{20}以上	精炼矿物油,润滑油,脂肪
不挥发固体	C_{20}以上	石蜡,沥青,焦油

(美国 OTA, Rittmann 等,1994)

由于广泛的使用与大量的进入环境,汽油是一个很能说明混合有机污染物的复杂性的例子。它的复杂性取决于三个方面。

(1)用来炼制的原油

表 13.5 是用不同地区原油蒸馏得到的汽油组分,可以看出烷烃与环烷烃组分占了直接蒸馏汽油的大部分,环烷烃大概占 20% 以下,烯烃与其他不饱和烃在直接蒸馏汽油中基本不存在。

表 13.5 典型的蒸馏得到的汽油的成分(体积百分比/ %)

来源与沸点范围/ ℃	烷烃	环烷烃	芳烃
科威特 40～200	72	20	8
伊朗 45～200	70	21	9
美国德州 50～200	35	39	26
中国大庆 40～200	60	30	10

(美国 OTA, Rittmann 等,1994)

(2)炼制方式

炼制方式在很大程度上也决定了石油混合物的组分。与直接炼制相比,热解方式得到的汽油含有烯烃、较多的芳烃、较少的烷烃和环烷烃;催化裂解方式得到的汽油含有烯烃和较多的芳烃,很少有 n-烷烃和环烷烃。而且一般来说,无铅汽油比有铅汽油含有更多的芳香烃,无铅汽油一般含有 2% ～5% 的苯(按体积),6% ～7% 甲苯,5% 乙基苯,6% ～7% 二甲苯(BTEX)。与其他成分相比,尽管总共只有约 20% 的含量,但它们有着相当高的水溶性,是水中主要的污染物。

(3)添加剂

汽油的组分里还有添加剂,添加剂可以用作抗爆剂、抗氧化剂、汽缸润滑剂等。一般来说,添加剂在汽油里含量很低,很少影响地下水,但甲基-叔丁基醚(MTBE)例外。在汽油里大量加入作为氧化剂的 MTBE 是为了减少排烟,但事实上却大大恶化了地下水污染问题。现在美国已经立法禁止使用 MTBE 以防止地下水污染。

13.1.3　重金属(Heavy Metals)

除了环境中可能有的重金属背景,人类的工农业、交通活动也对土壤和水体造成不小的污染。

大气中的大多数重金属是经过自然沉降和雨淋沉降进入土壤的。如瑞典中部 Falun 市区的铅污染,就是市区化工、采矿、油漆等企业产生的大量污染物,由于风的输送,扩散到周围地区。公路,铁路两侧土壤中的重金属污染,主要是 Pb、Zn、Cd、Cr、Co、Cu 的污染为主,它们来自于含铅汽油的燃烧,轮胎磨损产生的含锌粉尘等。

施用含有铅、汞、镉、砷等的农药和不合理地使用化肥,都可能在土壤中造成重金属的污染,一般过磷酸盐肥、磷肥、氮肥中重金属含量较高。农用塑料薄膜生产应用的热稳定剂中含有 Cd 和 Pb,在大量使用塑料大棚和地膜过程中都可能造成污染。

金属矿山的开采和冶炼作业、重金属尾矿、冶炼废渣和矿渣的堆放,都可以溶出含重金属离子的矿山酸性废水,随着矿山排水和降雨使之带入水环境或土壤。当地的水文地质条件对此种污染的分布很有影响。

地下水中的重金属污染一般是土壤和地表水中的污染物经渗透而来。

13.1.4　由于共同处置所引起的污染物(Mixtures Created by Co-disposal)

许多情况下,由于排放在同一个地点,一些不同来源的、看起来没有一点联系的污染物也混在了一起。

最典型的例子要算垃圾填埋场及其渗滤液里各种无机化合物和有机化合物的混合物。表 13.6 列出了垃圾卫生填埋场渗滤液的无机组分和它们的典型浓度范围。

表 13.6 典型的渗滤液的组分

指标	典型浓度/(mg/L)
K^+	200～1000
Na^+	200～1000
Ca^{2+}	100～3000
Mg^{2+}	100～1500
Cl^-	300～3000
SO_4^{2-}	10～1000
碱度	500～10000
总 Fe	1～1000
Mn	0.01～100
Cu	<10
Ni	0.01～1
Zn	0.1～100
Pb	<5
Hg	<0.2
NO_3^-	0.1～10
NH_4^+	10～1000
$P(PO_4^{3-})$	1～1000
有机氮	10～1000
总有机碳	10～1000
COD	1000～90000
总溶解固体	5000～40000
pH	4～8

(美国 OTA, Rittmann 等,1994)

第二节 修复工具与微生物
(Remediation Tools and Microorganisms)

在已知的修复例子和正在进行的修复研究当中,修复工具一般是微生物。修复工程中,微生物的种类、数量与活性都是决定生物修复过程的主要因素。

微生物需要不断地繁殖并维持其正常活动,因此需要从环境中获得能源,碳源和其他无机元素;与此同时,有机物本身被最终降解为 CO_2,无机物被转化或固定于其体内。

13.2.1　天然存在或/和经过驯化的微生物(Microorganisms That Exist Naturally and/or Acclimated)

在生物修复过程当中,影响微生物群组成的主要因素是修复对象与现场的环境条件。例如,用于修复石油污染的微生物就与用于修复重金属污染的微生物不同;温度、酸碱度,还有反应器的形式也会对微生物的种类和分布产生影响。

本节简要介绍污染修复中常见的一些细菌和真菌。

1. 好氧微生物群

(1)无色杆菌属(Achromobacter)

有时也将其分类为不动杆菌属。该属细菌能够在以铵盐为氮源和以乙酸盐,丁酸盐或丙酮酸盐为碳源的简单培养基中生长。无色杆菌广泛存在于土壤和水体中,典型菌株为从原油污染的海滨分离得到的 Achromobacter sp. ATTC21910,具有将原油分散并降解的能力。

(2)芽孢杆菌属(Bacillus)

芽孢杆菌大部分是革兰氏阳性菌,好氧或兼性厌氧,最适生长温度范围很广,为 -5～75℃。属于化能营养型,能产生多种水解酶(如脂肪酶,蛋白酶),具有很强的分解有机物的能力,在自然界特别是土壤中广泛分布。

(3)假单孢菌属(Pseudomonas)

假单孢菌是革兰氏阴性菌,极大部分属专性好氧,化能营养型,它们的生长温度范围为 5～45℃,最适温度在 30℃左右,最适 pH 为 7.0～8.5。许多假单孢菌属于具有降解芳香属化合物的能力,因此是污水处理和修复工程的主要细菌种类,典型例子是铜绿假单孢菌(Pseudomonas aeruginosa)。

(4)动胶杆菌属(Zoogloea)

动胶杆菌是在活性污泥及生物膜中形成絮体结构的一类细菌的通称,它对反应器中的生物团的稳定起着重要的作用。

2. 厌氧微生物群

在生物修复工程中,由于地下含水层和土壤内相当部分与相当程度是处于缺氧状态的,不可避免地要利用到厌氧微生物群。对于复杂的大分子有机污染物,如碳水化合物、脂肪,降解的第一步是要将它们水解为能够为微生物利用的小分子单体,这也是影响污染物降解或转化的关键。丁酸羧菌、乳杆菌、乳酸链球菌和一部分的芽孢杆菌等都在水解过程中不可或缺。例如,据报道,对六六六降解最为活跃的细菌是梭菌属的一种(Clostridium sp.),这种细菌很容易在厌氧条件下降解 γ 和 α-六六六。而在产甲烷阶段,各种的产甲烷细菌则起着决定性的作用。它们一

般分为甲烷杆菌属(Methanobacteriales)、甲烷球菌属(Methanococcales)、甲烷微菌属(Methanomicrobiales)。

3. 降解有毒有害有机物的特殊微生物

20 世纪 70 年代以来,人们从腐烂的木材中分离到了能降解木质素的微生物,主要是那些被称为白腐菌(White-rot fungi)的真菌,它们因为能够引起木材的白色腐烂而得名。同时也从它们的培养液中分离鉴别出了对木质素以及有着一定的结构相似性的多环芳烃降解真正起作用的酶。最重要的,也是目前研究与应用的最多的是黄孢原毛平革菌(Pharerochacte chrysosporium)及其产生的木质素过氧化酶和锰过氧化酶,对采绒革盖菌(Colious versicolor)的研究也在显著增加。

白腐菌所产生的能够降解木质素的酶系有一个显著特点,这就是它们对底物的非特异性。它们能够将结构和性质存在很大差异的化合物降解,如含氯芳香化合物、杀虫剂、染料、炸药等。白腐菌也能降解脂肪类、醚类化合物,如甲基叔丁基醚等。

白腐菌仅仅是能够降解那些难降解有机化合物的微生物中的一种,表 13.7 给出了一些典型的这种微生物。值得注意的是,虽然许多微生物都有这个能力,但是降解的机理和参与降解的酶系却有很大的差别,有的是氧化酶,有的则是还原酶。

表 13.7 降解污染物的微生物及其产生的酶

有机化合物	微 生 物	酶 系
2,2-二氯丙酸	恶臭假单孢菌	脱卤酶
氯乙烯	分枝杆菌属	烯烃单氧化酶
2-氯乙醇	假单孢菌	脱卤酶
二氯甲烷	好氧菌 DM1,生丝微菌属	脱卤酶(谷胱甘肽)
氯乙烯	分枝杆菌属	烯烃单氧化酶
反 1,2-二氯乙烯	甲基单孢甲烷菌,甲基球菌	甲烷诱导酶
氯代苯类	芽孢杆菌,短杆菌,产碱菌,厚单孢菌	
	洋葱假单孢菌	还原脱氯作用
	硝化假单孢菌属的氨氧化菌	氨氧化酶
三氯乙烯	不动杆菌属的好氧菌 G4	苯酚或甲苯诱导酶
	苯诱导假单孢菌	甲苯双氧化酶
	分枝杆菌属丙烷氧化菌	特异性丙烷氧化酶

4. 能够转化或固定重金属的微生物

与有机污染修复相比,关于重金属污染修复方面的研究和应用较少。重金属

污染的微生物修复包含两方面的技术:生物吸附和利用微生物改变重金属离子的氧化还原状态来降低环境的重金属水平。

一些微生物以重金属为营养元素,另一些能够超量吸收重金属生物吸附,见表13.8。

表13.8　能够吸收重金属的微生物

微生物种类	菌　种	金　属	吸附量/(mg·g^{-1})
细菌	动胶菌(Z ramigera)	Cu	170
放线菌	S. loogwoodensis	U	440
霉菌	产黄青霉(P. chrysogenum)	Zn	100
	米曲霉(A. oryzae)	Cu	11
藻类	普通小球藻(C. vuigaris)	Au	90
	褐藻(A. nodosum)	Co	100

在有毒金属离子的转化方面,以铬污染的微生物修复研究较多。在好氧或厌氧条件下,已知有许多异养微生物催化 $Cr^{6+}\rightarrow Cr^{3+}$ 的还原反应。许多研究还显示有机污染物如芳香族化合物可以作为 Cr^{6+} 还原的电子供体。这一结果表明微生物可以同时修复有机物和铬的污染。微生物还可以通过产生还原性产物如 Fe^{2+} 和硫化物间接促进 Cr^{6+} 的还原,Fe^{2+} 和硫化物可还原 Cr^{6+}。Hauera selenatis 可以除去污水中98%以上的硒,同时经反硝化作用除去 NO_3^-;铁还原细菌如 Geobacter metallireducens 和 Shewanella putrefaciens 可把高度水溶性的 Tc^{7+} 还原成难溶性的形态;另一些 Fe^{3+} 还原细菌可以把 Co^{3+}-EDTA 中的 Co^{3+} 还原成 Co^{2+},这有较大的实用价值,因为放射性 Co^{3+}-EDTA 的水溶性很高,而 Co^{2+} 与 EDTA 结合较弱,可使钴的移动性降低。

除了通过还原金属离子形成沉淀外,微生物还可把一些金属还原成可溶性的或挥发性的形态。如一些微生物可把难溶性的 Pu^{4+} 还原成可溶性的 Pu^{3+};一些微生物可把 Hg^{2+} 还原成挥发性的 Hg;铁锰氧化物的还原也可把吸附在难溶性 Fe^{3+}、Mn^{4+} 氧化物上的重金属释放出来;还有一些微生物(Geospirillum arsenophilus、Geospirillum barnseii 和 Chrysio-genes arsenatis)在厌氧条件下以 As^{5+} 作为电子受体,并把其还原成 As^{3+},这一过程可以促进砷的淋溶,因为 As^{3+} 的溶解度大于 As^{5+}。

在重金属污染修复中,也常利用微生物的氧化反应。例如,在含高浓度重金属的污泥中,加入适量的硫,微生物即把硫氧化成硫酸盐,降低污泥的 pH,提高重金属的移动性。

13.2.2 用于修复的微生物的培养与驯化(Incubation and Acclimation of Remediation Microorganisms)

1. 微生物的驯化

许多微生物并不是天生就具有降解或转化有毒有害污染物的能力,而是通过“驯化”而逐渐“学会”的。实际上在环境遭受有毒有害污染物的侵袭后,自然地也存在一个“驯化”的选择过程;很多情况下,人们都是在修复现场寻找和筛选“幸存”的生命力极强的微生物并加以培养。驯化过程实际上是在污染物的诱导下产生一些特定的酶系。最典型的是含氯有机化合物的降解,与其他有机化合物相比,它们不易被微生物降解是因为氯不是微生物的必需元素,因此细胞中几乎不具备将其转化为不含氯中间产物的酶系。后来人们通过在培养基中的富集培养和“驯化”,诱导出目标酶系(脱卤酶,苯酚,甲苯诱导酶等),成功地获得了降解含氯有机物的菌株。

2. 微生物的混合培养与它们间的关系

有些微生物群会形成以特殊营养物为纽带的相互联系。例如,诺卡氏菌能够单独氧化环己烷,但必须有假单孢菌为其提供生长因子;若环己烷是唯一的碳源,这两种细菌必须混合进行培养。

有些微生物群则通过消耗抑制性产物而相互联系。这种关系的典型例子是,甲烷菌产生的甲烷对假单孢菌的生长有抑制作用,而生丝微菌属(Curtobacterium)则可以利用甲烷,从而消除了对假单孢菌的抑制,促进了其对有毒有害污染物的降解。

有些有害污染物的降解不是群落中某一种微生物的作用,而是依赖群落中各微生物的协同或接力作用,因为单独一种微生物并不具备有毒有害化合物彻底降解的全部酶系。这样的例子很多,如将降解苯乙烯的微生物混合培养,能够检测到苯乙醇和苯乙酸等中间产物。在厌氧降解过程中,则无一例外是这样的。

另外,在有些情况下,微生物共代谢作用也不容忽视。共代谢是指:微生物只有当初级能源物质存在时才能通过其诱导酶系完成降解。据报道,一株洋葱假单孢菌(P. cepacia G4)以甲苯作为生长基质时可以对三氯乙烯共代谢降解。还有研究表明,某些微生物能共代谢氯代芳香类化合物。例如,某些能分解苯酚或甲苯的微生物也具有分解二氯乙烯或三氯乙烯的能力。究其原因,是因为微生物本身不能利用含氯化合物,因此要有其他能被微生物代谢的碳源和能源物质时才能生长,并通过它们在氧化过程所产生的能量 使得含氯有机化合物氧化降解。

3. 微生物的营养

土壤和地下水中,尤其是地下水中,氮、磷都是限制微生物活性的重要因素,为了使污染物达到最大程度的降解,添加营养物显得尤为重要。例如添加酵母膏或酵母废液可以明显地促进石油烃类化合物的降解。

与其他化合物相比,石油中的烃类作为一种天然有机物,微生物可以利用它们作为生长碳源,但不能提供氮、磷等营养物质。实验表明,加入氮和磷酸盐能明显地促进土壤中的石油的生物降解作用,特别是调整到合适的 C∶N∶P 比例。

为达到良好的效果,必须在添加营养盐之前确定营养盐的形式,合适的浓度以及适当的比例。目前使用的营养盐类型很多,如铵盐、磷酸盐或聚磷酸盐、酿造废液和尿素等等。施用以后的效果既取决于施肥的速度和程度,也受制于现场原有的环境条件。

虽然可以在理论上估计氮、磷的需要量,但一些污染物降解速度太慢,且不同现场的氮、磷可处理性变动很大,计算值只能是一种估算,与实际值会有较大偏差。因此,在选择营养盐浓度和比例时通常要进行小试。

4. 电子受体

微生物的活性除了受到营养的限制以外,对氧的需求也是制约其生长繁殖的一个重要因素,只不过这个“氧”可以是氧气(O_2),可以是化合物中的氧原子(铁离子在厌氧条件下也可以),只要能提供氧化还原反应的最终电子受体即可。最终电子受体的种类与浓度也极大地影响降解的速率与程度。最终电子受体主要可以分为以下三类:溶解氧、有机物分解的中间产物和无机酸根(NO_3^-,SO_4^{2-} 等)。

土壤中溶解氧浓度有明显的层次分布,一般自上而下存在好氧带,缺氧带和厌氧带;而地下含水层中大多缺氧或厌氧。已知的研究表明,好氧在大多数情况下有利于大多数污染物的生物降解。为增加修复现场的溶解氧,可以采用一些工程措施,例如:用鼓风机向地下送氧;通过管道添加一些能够快速释放氧原子的“产氧剂”,如双氧水,过氧化钙,但这种情况下,一定要考虑“产氧剂”的生物毒性和环境遗留问题;另外,控制水分在一个较低的水平,对土壤进行适度的耕作,也可以使溶解氧维持在一个较高的水平。

一些在好氧条件下难以降解的化合物,比如多氯联苯(PCBs),却在厌氧环境中可以降解,硫酸根、硝酸根、铁离子等都可以加入作为电子受体,在地下含水层或比较贫瘠的土壤中进行修复工作,它们尤其需要。但是值得注意的是,在这种情况下必须考虑对地下水中的硝酸盐浓度的限制,因为它们本身就可以是污染物。

另外,现场的电子受体的供给不仅影响污染物的降解速率与效率,而且也决定

着一些污染物降解的最终产物形态。

5. 土著微生物与外来微生物

本节介绍的可以用于生物修复的微生物大致可以区分为两大类型:土著菌和外来菌,下一节还将介绍基因工程菌(GBM)。

很容易理解,“土著微生物”是受污染现场恶劣条件下经淘汰选择出来的微生物,它具有多样性的特点,优势种属会随着外部环境的改变而改变。当土著微生物生长速度太慢,代谢活性不高,或者由于污染物的高浓度和高毒性的存在而造成数量下降甚至灭绝的时候,需要接种一些“外来微生物”。外来微生物的寻找与培养集中于两方面:一是广谱的,能降解多种污染物;另一种是能用于极端环境中的。

无庸质疑的是,外来微生物的引入会带来诸如“生物安全”之类的很多问题,科学家与各国政府对工程菌,不论是经驯化得到的,还是下一节提到的 GBM 基因工程菌,都很谨慎,现在也有一些限制性法规出台。另外,土著微生物的潜力巨大,很多时候不必费力从外界去引入;接种的微生物在本地难以保持较高的活性。所以目前在大多数修复工程中实际应用的都是土著微生物。美国 1993 年前的 124 个修复点中,96 处(77%)是使用土著菌,17 处(14%)是采用引入微生物的方式,另外 11 处(9%)是联合使用。

6. 基因工程菌(GBM)

上文介绍的微生物是通过培养和驯化应用于修复工程,随着生物化学相关基础学科的发展,人们开始用更微观的方法,更小的尺度(分子水平)来研究微生物在环境工程中的应用。其实,降解或转化污染物真正起作用的是微生物分泌的酶,编码这些酶的基因大多存在于微生物细胞的大质粒上,也有些在染色体上,或者同时存在于两者之上。

基因工程菌的获得从以下几个方面。

(1)转移质粒构建质粒菌株

某一菌株仅局限于分解某一种化合物,污染地通常含有多种污染物质,因此很有必要扩展某一特定菌株的分解范围。最直接的方法是通过接合作用把编码不同降解途径的酶的基因导入同一受体菌,就会形成多种功能的融合质粒。

Chakrabarty 等人在 20 世纪 70 年代首先构建成功含有多种降解功能的细菌菌株。他们使用不同的质粒来构建分解石油中的一系列碳氢化合物的菌株,即采用连续杂交法,将降解芳烃,萜烯和多环芳烃的几个质粒经接合转移到一株能降解脂肪烃的假单孢菌上,该菌株被称为“Superbug”,因为它的代谢能力远远高于其他菌株。

(2)利用质粒突变筛选高效降解菌

通过质粒基因扩增、质粒进化、质粒之间相互作用,人工导致质粒突变,对顽固的卤代芳烃等的降解,有不少成功的报道。例如,Chakrabarty 等将氯代苯甲酸降解质粒 PAC27 和同代 PCB 质粒接合,组建了突变质粒的单一菌种。

(3)改变基因

这种方法是改变降解代谢途径中的某一基因以获得所需的具有多种降解功能的重组菌。例如研究表明,能降解甲苯的 P. putida 中的某些菌株也能够降解三氯乙烯。研究人员将这个基因片段移入大肠杆菌中进行表达,基因重组后的大肠杆菌可以降解三氯乙烯。

尽管利用遗传工程提高微生物的降解能力的工作已取得很大的进展,但如前所述,它的应用还受到严格的立法控制,比如美国的"有毒物质控制法"(TSCA)。不过可以肯定的是,GBM 的应用前景会很大。

第三节　可行性研究
(Feasibility Study)

在任何工程进入实施阶段之前,都要进行可行性的研究和评价。

13.3.1　修复过程的影响因素(Factors Influencing Remediation)

掌握修复过程的影响因素,尽可能地量化这些因素为具体的指标,是进行可行性研究的第一步。在前两节,我们已经提到过一些,在这里系统地整合归类。

(1)污染物性质

主要是指淋失与吸附、挥发、生物降解和化学反应这四个方面,具体有:

①化学品的性质。如相对分子质量、熔点、结构、水溶性、酸碱性等。

②化学反应性。如氧化、还原、水解、沉淀和聚合等。

③生物毒性。如辛醇-水分配系数、半致死浓度等。

(2)污染状况

①污染的分布、浓度和累计的时间。

②当地正常情况下和受污染后微生物的种类、数量和活性以及在土壤中的分布,并分离鉴定出微生物的种属,检测微生物的代谢活性,从而确定该地是否存在适合于完成修复的土著菌。具体的方法包括镜检(染色或切片)、测 ATP、酶活性以及平板技术等。

(3)现场因素

①温度(包括土壤,地下水的和大气的)、风速、常年风向、大气湿度、降水情况等。

②水文地质数据,包括边坡与地形考察、地质采样分析、渗透性、渗透速率、不渗水层与含水层的深度、地下水位(要考虑季节因素)、地下水流类型与特点、是否有压、地面冻土深度、洪水频度等。

③土壤或含水层的孔隙率、电位、pH、黏土类型与含量、离子交换容量、有机质、总密度等。

(4)非技术因素

①预算与各项技术经济指标。

②有关的管理法规,如法定的环境标准。

13.3.2 技术查询与选择技术路线(Technology Searching and Selecting)

在掌握足够的数据以后,应向有关信息中心咨询是否在相似的情况下进行过修复处理。例如,在美国,要向"新处理技术信息中心"(alternative treatment technology information center, ATTIC)提出技术咨询;在中国,可以向"技术查新中心"咨询。根据查询结论,列出技术方案。

13.3.3 可处理性实验(Treatability Studies)

在实际工程开展之前,有必要进行可处理性实验。

实际环境中的污染物一般是混合性的化学物质,即使我们像第一节所述那样详细周密地调查污染源,现场仍然可能有许多无法确定的污染物质,例如油类、农药、有机化合物的同系物、衍生物、无机物与重金属的复合体。所有这些一般是由于检测能力差,现场检测条件差或者存在无法预料和知道的复合性污染。另外,氧和营养物浓度以及水的可用性和迁移性等因素也会影响微生物的生长能力和污染物的迁移及其生物有效性。因而在很多情况下,前人的经验,包括文献与实际操作,在当前现场常常不起作用,这样必须进行个案对待,对每个修复现场都要进行可处理性研究。

可处理性研究主要是提供在修复过程中的行为和归宿的数据,评价修复现场表层和深层的修复速度和程度,用以评估所采用技术的可行性和局限性。根据可处理研究得到的净化时间,净化所能达到的水平以及处理费用等,最终确定是否实施工程。

可处理性研究总的目标是确认计划方法有没有较高的成功可能,依现场的污染状况决定开展的数量,类型和级别。一般说来,要与现场和污染状况的不确定程度一致。当不确定程度低的时候,做的工作可以少一点;当不确定程度高的时候,则需要做大量的工作。

表 13.9 是决定需要什么级别的可处理性研究的简表。

表 13.9　决定可处理性研究的目标与方法

级　别	目　　标	方　　法
1	确定生物降解或转化是否可行	简单的实验室方法,对其回答“是”或“不是”
2	评估过程的复杂性,例如浓度对动力学,抑制作用,吸着作用,溶解作用,混合基质,中间体的形成,是否需要其他基质或营养物的影响	各种实验室方法,包括摇瓶法,土壤柱试验,反应器等
3	评估现场的特有因素,例如水文地质条件	现场试验

如果从文献或其他的修复例子可以得到答案,就不需要进行级别 1。当污染物很特殊,不能识别(例如它们仅仅是在色谱上出现不清晰的几个峰),或者相互抑制(例如高盐,一些金属)以及处理条件相互矛盾(例如有的需要好氧环境,有的需要厌氧环境),则有必要进行级别实验。

(1)级别 1

在实验中应注意避免挥发或者吸收以确保微观的反应条件与评价的现场尽量一致。一般来说,如果与无机环境或环境背景相比,目标化合物几乎消失,就可以得出肯定的回答。

(2)级别 2

在级别 1 的基础上,对反应速率做出估计,对一系列复杂因素做出判断,它应该尽量在实验室里用真实的土壤和地下水进行。尽管级别 1、2 的实验系统和方法有很多相似,但取样和分析要做得更细,最后可以对修复工程做实际的设计。

图 13.1 是典型的实验室规模的反应器。容器有 2L 大,污染物或基质通过恒

图 13.1　典型的实验室规模的反应器

流泵输入,用适当的温控器控制温度,维持容器中的 pH 和电位,有搅拌装置使得混合均匀。定时从采样口取样分析。

(3)级别 3

即现场试验,是用来回答"在此时此地这个特定条件下工程能否顺利而成功地完成"这个问题。现场许多与实验室的不同情况可能会起着负面作用,例如极低的渗透率。当现场的水文地质条件很简单、很有利,以至于可以在实验室模拟,就不用做这一项工作了。

级别 3 的试验是在污染现场的一小块地里进行,这块地应该在水文地质条件和污染状况方面有着高度的代表性;也应该足够的大,以遭遇各种真实条件。最后最好做出污染物迁移和降解转化的数学模型。

13.3.4 实际工程设计与施工(Designing and Constructing Real Project)

在确定技术经济可行性后,就可以开始修复计划的实施。

第四节 修复方法

修复工程与技术在短短的几十年里飞速发展,成为环境工程学科里最有发展潜力的分支领域,形成的方法千差万别,在已知的文献中对其分类也不尽相同;但从是否将受污染部分移出现场这一标准出发,可以把它们分成原位(in situ)、异位(ex situ)。除了应用微生物来修复,现在还发现有其他的修复方法,例如化学修复法,植物修复法等,我们把它们另行分类。

13.4.1 原位处理法(In situ Remediation)

原位修复是将污染物在其所在位置进行处置,毋须将被污染的介质进行转移。这样就使得工程简化了许多,费用也相应降低。

1. 原位自然修复法

在一些特殊的受污染地区,存在较高浓度的电子受体、足够的营养物、比较一致的地下水位和流速、可以缓冲 pH 的碳酸盐,或者可能在渗流层的污染物羽状流的边缘区域含氧条件较好,可以采用"自然修复法"。自然修复法主要是依靠自然的微生物群落——土著微生物,它也不是完全不需要辅助手段,比如可以改善现场的排水和通气条件。

2. 原位修复工程

当自然修复不可行或预计效果不明显时,有必要加以工程措施,即以人工方法

向污染区域加入营养物、活性剂、微生物群或者压缩空气。依现场情况而定,可以加入其中的一种,也可以几种联合加入。通常,原位修复场地的污染物浓度不应太高,水力特性最好各向同性,不溶性的污染物也不能太高(否则会降低渗透率和生物可利用性)。

(1)下渗

如图 13.2,把生物降解或转化所需加入的物质以溶解态灌溉到土地表面,通常是把它们引入一个浅池或一系列的沟渠中,让其经可渗区域的土壤缝隙到达含水层顶部,假设垂直流是其主要的流态。以下渗的方式来修复只能在含水层较浅的情况下进行,因为物质从土地表面下沉到污染区域的时间不能太长,否则会引起诸多问题,例如它们会大量地被土壤吸收或截留而所剩无几。氧气在这种情况下也不容易通入,因为氧气在水中的溶解度很低,而在可渗区的土壤缝隙的氧气也会被水流排走。所以氧气的供应是这种系统的一个限制性因素,缺氧会导致兼性或专性厌氧菌的大量繁殖,在大多数情况下抑制生物降解或转化的进行,还有实验表明厌氧条件下,污染区域更容易扩散。

图 13.2　下渗图

(2)泵抽取系统

如图 13.3,在受污染区域钻井。井分为两组,一组是注水井,用来将接种的微生物、水、营养物和电子受体等物质注入含水层;另一组是抽水井,通过向地面抽取地下水来造成所需要的地下水的流动,促进微生物的分布和营养等物质的运输,保持氧气的供应,通常需要的设备是水泵。有的系统,在地面上还建有活性污泥法等生物处理装置或离子交换与吸附等物化处理装置,将抽取的地下水处理后再注入地下。这种方法,处理的时间会较长,污染很可能进一步扩散,因而适用于受污染面积大,污染状况较稳定的地区。

(3)生物注射和生物通风

如图 13.4,生物注射法主要是将加压后的空气注射到污染地下水的下部,气

图 13.3 泵抽取系统

流加速地下水和土壤中有机物的挥发和降解。这种方法抽提、通气并用,通过延长停留时间促进生物活动。若将表面活性剂微泡注入现场,可集中将氧气和营养物送往生物有机体,效果更加明显,这种方法被称为微泡法(microbubble)。

图 13.4 生物注射法

如图 13.5,生物通风是一种对污染土壤的原位修复方式。为了提高土壤中的污染物降解或转化效果,需要排出土壤中的二氧化碳和其他有害可挥发性气体。生物通风系统就是通过真空或加压进行土壤曝气,使土壤中的气体成分发生变化。当污染物质易挥发时(例如亨利常数大于 0.1),鼓风速率应该大一些,这种情况一般称为土壤气体萃取(soil vapor extraction,SVE)。

图 13.5　生物通风法

13.4.2　异位处理法(Ex situ Remediation)

异位修复的工程措施和根本方法与一般概念上的污染治理类似,即构建一个处理设施,将被污染的介质导入该设施中进行处理,待得到净化以后,再导回现场。对地下水来说,如果在上文介绍的原位处理法泵抽取系统的地上部分接入水处理单元,就可以认为是异位修复;对土壤来说,主要方法包括土地耕作法(land farming)、堆肥(composting)和预备床(prepared bed)。

土地耕作法是在非透性垫层和沙层上,将受污染土壤以 10～30cm 厚度平铺其上,以防止污染物转移,并淋洒营养物、水或微生物菌种,定期翻动,该过程中产生的渗液可回淋于土壤,以彻底清除污染物。土地耕作处理的地形坡度不能太大,周围要挖有深沟。

堆肥法在耕作法基础上,另外再加入木屑、稻草、粪便等支撑材料,达到保水通气的目的。操作上同样需定期搅拌。目前,对于堆置本身的条件控制已经较为成熟。适宜的堆置条件如表 13.10。

表 13.10　堆肥法的条件控制

环境因素	范围	最适条件
温度/ ℃	46.7～65.6	54.4～60
湿度/ %	40～65	50～60
pH	5.5～9.0	6.5～8.0
氧气含量/ %	> 5	> 10
养分比例	C∶N = 20∶1～40∶1	25∶1～30∶1
颗粒大小/ mm	< 10	5～10

预备床就是将受污染的部分从现场挖出,防止其向更广大地域扩散,将土壤运输到一个经过各种工程准备(包括布置衬里,设置通风管道等)的地点堆放,形成上升的斜坡,并在此进行修复,处理后的土壤再运回原地,如图 13. 6。复杂的系统可以带管道并用温室封闭,简单的系统就只是露天堆放。有时首先将受污染土壤挖掘起来运输到一个地点暂时堆置,然后在受污染的现场进行一些工程准备,再把受污染土壤运回原地。从系统中渗流出来的水要收集起来,重新喷洒或另外处理,也可以在原处添加树皮或木片等有机块状材料,这样既可以改善土壤结构,保持湿度,缓冲温度变化,也可以为一些高效菌提供生长基质。

图 13. 6　预备床

图 13. 7　污染土壤修复流程

土地耕作、堆肥和预备床三种方法很类似,呈依次强化关系,在实际中,可以根据现场条件加以选用。

当然,如果现场污染情况严重而且需要在较短时间内完成修复,还可以将受污染的土壤挖掘出来,经过碾碎,和 3～9 倍的水混合以后使其成为泥浆状,移入已经接种的生物反应器里,加入所需的营养物和电子受体等。处理以后的浆状物经在快速过滤池中脱水再运回原处,出水则视水质和当地有关法规而定,直接排放或送入污水处理厂继续处理,如图 13.7。反应器的规模可大可小,既可以是卧式鼓状的,气提式的,固定床或流化床的小型装置,也可以是类似稳定塘,甚至污水处理厂之类的大型设施。

反应器内很容易针对具体的污染物控制反应条件在最佳状态,加之由于以水相为主要处理介质,传质速度快,这种方法一般效果很好;但相应地,费用也是最高的。

13.4.3　化学修复法(Chemical Remediation)

1. 土壤污染的化学修复

污染土壤的化学修复是用表面活性剂或有机溶剂来清洗土壤中的有机污染物。化学清洗的效率与清洗剂本身的物理化学性质 (如表面张力,亲水/亲油平衡值,表面活性剂的临界胶束浓度,加溶性能等)及土壤对有机污染物、化学清洗剂的吸附作用等有关。

由于表面活性剂能改进憎水性有机化合物的亲水性和生物可利用性,因而被广泛应用于土壤及地下水有机污染的化学与生物修复中。常用于污染土壤清洗修复的表面活性剂有:非离子表面活性剂 (如乳化剂 OP, Triton X-100,平平加,AEO-9 等)、阴离子表面活性剂(如十二烷基苯磺酸钠 SLS,AES 等)、阳离子表面活性剂(如溴化十六烷基三甲铵 CTMAB)。由微生物、植物或动物产生的天然表面活性剂称为生物表面活性剂(biosurfactants),它们通常比合成表面活性剂的化学结构更为复杂和庞大,单个分子占据更大的空间,因而临界胶束浓度(CMC)较低,清除土壤有机污染物效果较好,且生物表面活性剂更易降解。阴-非离子混合表面活性剂具有协同增溶作用,与单一表面活性剂溶液相比,吸附作用和沉淀作用均降低,从而作用于油类等有机物的有效浓度也相应提高,用于清除土壤中有机污染物的效果更好。除表面活性剂外,有机溶剂也可用来清除土壤中的有机污染物。

2. 地下水污染的化学修复

地下水污染的化学修复主要有两种方式。其一如图 13.8,利用土壤和含水层中含有的黏土,在现场注入季铵盐阳离子表面活性剂,使其形成有机黏土矿物,用来截住和固定有机污染物,防止地下水进一步污染,并配合生物降解等手段,永久

地消除地下水污染,用有机黏土现场修复地下水污染;其二是在地下水的原位修复中,向污染区域注入表面活性剂,增加疏水性有机物的溶解度及生物可利用性。

图 13.8 地下水污染的化学修复

13.4.4 植物修复法(Phytoremediation)

由于其代谢特性,微生物一直是特别受到关注的生物类群。然而近年来的研究表明,利用植物对污染的环境进行修复,即植物修复是一个更经济更容易的现场操作,适用于大面积、低浓度污染。

植物修复所取得的最大的进步是去除环境中的重金属。植物对重金属污染位点的修复有三种方式:

①植物固定。即利用植物及一些添加物质使环境中的金属流动性降低,生物可利用性下降,使金属对生物的毒性降低。在这一过程中,土壤的重金属含量并不减少,只是形态发生变化。

②植物挥发。即利用植物去除环境中的一些挥发性污染物,即植物将污染物吸收到体内后又将其转化为气态物质,释放到大气中。

③植物吸收。即利用能耐受并能积累金属的植物吸收环境中的金属离子,将它们输送并储存在植物体的地上部分。

核试验以及核反应堆的运行使核裂变副产物成为环境中的一类重要污染物。这些放射性核素长期存在于土壤和水体中,对人类及生物的健康造成很大的威胁。植物可从污染土壤中吸收并积累大量的放射性核素,因此用植物去除环境中的放射性核素,目前已经有许多成功的例子。

13.4.5 其他修复法(Other Kinds of Remediation)

电修复(electromremediation)是近年来才发展的一项新兴技术,其基本原理是在被污染的土壤两端加上低压直流电场,利用电场的迁移力,将污染物转移到一端

电极,从而得到分离。

热修复是利用污染物的热挥发性,采用加热的方法将汞或蒸气压大的有机物从土壤中解吸出来的一种方法。

第五节　修复技术的发展
(Development of Remediation Technology)

修复技术的出现和发展反映了环境保护工作从一般的污染治理深入到影响更为深远的有毒有害污染物治理,从污染排放口的末端处理扩展到已经被严重污染的土壤、地下水和海洋。

这种新兴的技术从一开始就受到环境科学与工程界的广泛关注。1991 年 3 月,在美国圣地亚哥举行了第一届原位生物修复国际研讨会,会议有 20 个国家的 700 名学者参加,并且在那以后每两年举行一次;2000 年 10 月 15～18 日在中国杭州召开了第一届土壤国际修复会议,来自世界各地的逾千名科学家讨论了土壤修复的最新进展。

1989 年 3 月,超级油轮 Bxxon Valdez 号 4.2 万 m^3 的原油在美国阿拉斯加海岸泄漏,影响波及 1450km 海域。由于常规的净化方法已不起作用,Bxxon 公司和美国 EPA 就开始了著名的“阿拉斯加研究计划”,主要采用生物修复技术来消除溢油污染。他们在海滩有控制地添加良种亲油的微生物营养成分,结果石油的降解速度提高了 2～3 倍,使净化过程加快了近两个月,同时并没有对环境产生负面的影响。

不断涌现的成功例子也使各国的环保当局承认并鼓励修复技术的研究和应用。例如美国威斯康星州明确规定将生物修复技术列为净化受地下储油罐泄露污染的土壤的三种治理方法之一,而且如果修复技术适用于某一污染地点,就不再要求使用其他方法。

当然,修复技术也有其局限性:

①影响因素众多,应用范围不广。污染物质与污染状况,修复工具,现场因素都会限制它的应用。

②很难将污染物全部去除,常常只能缓解污染程度,残余的污染物还会留在环境中。

③没有统一的研究、设计和施工规范,效果评估困难。

但无论如何,修复技术是一个环境工程很有前途的领域。

参考文献

岑沛霖等. 2000. 工业微生物学. 北京:化学工业出版社

池振明等. 1999. 微生物生态学. 济南:山东大学出版社
格拉泽 A N 著. 2002. 陈守文译. 微生物生物技术. 北京:科学出版社
侯玉华. 2000. 微生物工程概论. 北京:兵器工业出版社
姜成林等. 2001. 微生物资源开发与利用. 北京:中国轻工业出版社
李永祺等. 1991. 海洋污染生态学. 北京:海洋出版社
刘如林等. 1995. 微生物工程. 天津:南开大学出版社
马文漪,杨柳燕. 1998. 环境微生物工程. 南京:南京大学出版社
徐丽华等. 1997. 微生物资源学. 北京:科学出版社
须藤隆一著. 俞辉群等编译. 1988. 水环境净化及废水处理微生物学. 北京:中国建筑出版社
张景来等. 2002. 环境生物技术及应用. 北京:化学工业出版社
张元兴等. 2001. 生物反应器工程. 上海:华东理工大学出版社
翟礼嘉等. 1998. 现代生物技术导论. 北京:高等教育出版社
Eweis Juana B. et al. 1998. Bioremediation Principles. New York: McGraw-Hill Press
Logan Terry J. 2002. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. New York: CRC Press
Rittmann Bruce E, McCarty Perry L. Environmental Biotechnology(影印版). 2002. 北京:清华大学出版社

第十四章　有害废物

第一节　有害废物的来源和影响
(Source and Influence of Hazardous Waste)

14.1.1　有害废物的来源(Source of Hazardous Waste)

有害废物是人类在工业生产和社会经济活动过程中产生的,能够给人类健康、财产及环境安全带来潜在和即时危害的工业和生活废弃物。它通常以气、液、固三种形态出现在人们面前。工业生产部门是其主要来源,如化学品生产部门、石油炼制及产品加工部门、金属冶炼及制品加工部门、机械产品生产部门和纺织产品生产部门等。工业生产过程产生的有害废物可占到有害废物总量的 90 % 以上。人类社会其他活动,如商业、公共福利机构、家庭日常生活等活动,虽然产生少量有害废物,但因涉及的范围广泛,危害性不可忽视。

表 14.1 列出了有害废物产生的部门及排放的有害废物。

表 14.1　有害废物及其产生部门

部　　门	来　　源	有害废物
商业和农业	车辆维修	废油
	机场	废油、废液等
	干洗	卤化溶剂
	电力变压器	多氯联苯(PCB_S)
	医院	病原体、传染病原废物
	农场、公园	废农药、空容器
小型工业	金属处理(电镀、蚀刻、阳极化处理、镀锌)	酸、重金属
	照相业	溶剂、酸、银
	纺织加工	镉、矿物酸
	印刷	溶剂、墨水、染料
	毛皮制革	溶剂、铬
大型工业	铝土矿加工业	赤泥
	炼油(石化制造业)	废催化剂、废油
	化学、药品工业	残留物、溶剂
	氯工业	水银

14.1.2　有害废物对人类健康和环境的影响(Influence of Hazardous Waste for Human Health and Environment)

有害废物产生之后,主要通过污染空气、地表水、地下水及土壤,构成对人类健

康和环境的潜在危害。危害性的大小取决于有害废物的数量、物理和化学特性、排放方式、环境条件等因素。同时,人类、野生动物、植物、建筑物等与有害废物的接触时间和接触方式也对有害废物危害性的大小有重要影响。

有害废物对人类健康的危害主要表现在:

①暴露于有害废物存在的环境或与有害废物直接接触,造成身体组织、器官的直接伤害。例如,当人们接触到具有毒性、腐蚀性的化学废弃物时,这些化学废物可通过人体的呼吸系统、皮肤接触和皮肤渗透等途径,对人体产生伤害。

②有害废物污染人们生存的环境,如水源、土壤等,或者在植物及其他动物体内富集,通过饮用水和食物对人体产生间接的、持续性的,有时是持久性的危害。

③有害废物对环境的影响主要是通过与所接触物质发生物理、化学或生物作用,改变了该物质的原有性质,使物质的使用功能或环境系统原有的平衡受到破坏。

因此,为了确定有害废物的危害性大小并防止有害废物对环境和人类健康可能产生的不利影响,必须考虑和评估:

①有害废物的数量、物理和化学特性。

②周围环境目前污染状况及有害废物排入后,污染物协同作用对人类健康和环境的危害。

③危害程度,包括危害的严重性、持续性和持久性等。

14.1.3 有害废物的小量化(Miniaturization of Hazardous Waste)

1. 废物小量化

是指在有害废物的产生、处理、储存或处置过程中,通过采取某些措施,削减有害废物的数量,降低有害废物的毒性,最大限度地对有害废物加以利用。废物小量化过程由污染源削减和污染物循环利用两部分组成。在这一过程中,包含了诸如削减有害废物总体积或总量,降低有害废物毒性并加以综合利用等一系列实践活动和方法。

2. 污染源削减

污染源削减是有害废物小量化过程中重要的工作内容之一。它通常是指减少或消除生产过程中有害废物产生的任何活动。污染源削减可通过实施污染源控制和进行产品变换加以实现。

(1)污染源控制

工业生产过程中,有害废物的产生是不可避免的。为将有害废物的危害程度降低到容许的最小程度,需要人们对生产管理方式、生产工艺、操作方式和习惯进

行改革,在有害废物产生之前,从源头上削减有害废物的产生量。目前进行的改革包括:采用杂质含量低、无毒或低毒的原、辅材料;优化工艺控制条件;提高自动化控制水平;采用先进的生产设备;合理进行生产装置布置;建立先进、有效的管理体系,提高管理水平;加强有害废物排放的控制、管理和处理,尽可能降低有害废物对人体健康和环境的潜在危害。

(2)产品变换

积极开发新产品,替代原有毒性大、污染严重的产品。

3. 污染物循环利用

生产过程产生的污染物可通过提纯、分离、再加工等方式进行回收。回收物返回到原生产过程或作为另一生产过程的替代原料使用;也可加工成副产品或可回收利用的资源加以利用。

第二节　有害废物的特征与分类
(Characteristic and Category of Hazardous Waste)

14.2.1　有害废物的特征(Characteristic of Hazardous Waste)

废物是否有害需按一定的程序进行分析、评估加以确认。这一程序通常包括:废物产生源分析,废物取样程序,废物是否具有有害废物特征的分析(例如废物的易燃性,腐蚀性,反应性,毒性等)。其中,废物有害特征分析的结果是判断废物是否有害的依据。

1. 易燃性

易燃性是指废物在运输、储存、处理或处置过程中易引起燃烧的特性。判断废物具有易燃性的标准包括:闪点低于 60℃的液体;酒精含量大于 24%(V%)的液体;通常情况下会自燃的非液体。

2. 腐蚀性

腐蚀是指在一定条件下,某些物质与废物接触,发生化学或电化学反应而受到破坏的现象。废物具有腐蚀性的判断标准是:

①pH 小于 2.0 或大于 12.5 的水溶液。

②在 55℃温度下,对钢材的腐蚀速率大于 6.35 毫米/年的液体。

3. 反应性

反应性是指废物易与其他物质发生剧烈的化学反应,引起火灾、爆炸或产生有

毒、有害物质的特性。其判断标准是:

①通常情况下不稳定,能发生剧烈反应而引起爆炸或发生爆炸反应。

②与水发生剧烈反应。

③与水混合时,生成潜在的具有爆炸性的混合物。

④与水混合时,产生对人体健康、环境有毒害作用的气体、蒸气或烟雾。

⑤pH 在 2.0～12.5 范围内,会产生有毒气体的氰化物或硫化物。

4. 毒性

毒性主要表现为废物进入动、植物机体后,通过与机体发生化学或物理化学作用损害机体,引起机体功能障碍、疾病,甚至死亡的特性。具有毒性的废物通常包括含重金属化合物、高毒或剧毒且不易降解的合成有机化合物等。

14.2.2 有害废物的分类(Category of Hazardous Waste)

有害废物的种类繁多,仅工业上使用的有毒化学物质就已超过 10000 种,无法一一列举。现按其来源、特性及对人体健康和环境的危害,归类如下:

1. 无机类有害废物

(1)酸、碱类有害废物

该类有害废物来源广泛,可产生于工业生产的各个行业和部门。主要来自化工、石化、钢铁、金属加工、轻工等行业。这些行业酸、碱类有害废物的排放量在有害废物的排放总量中占有较大密度。其有害特性主要表现为腐蚀性和毒性,其含量水平以水的 pH 表示。酸性有害废物会腐蚀金属和混凝土结构材料;碱性有害废物易产生泡沫,使土壤盐碱化。动植物及微生物有各自适应的 pH 范围,超出适应范围时,将抑制它们的生长繁殖,严重时,导致死亡。

(2)无机金属化学毒物

金属化学毒物主要是指重金属(相对密度通常大于 4)。其中包括汞、铬、砷、镉、铅、镍、铜、锌、钴、锰等。前面几种危害最大。轻金属中,铍的毒性较大。其有害特性表现为毒性,并具有以下特点:以离子态存在时,毒性最大;可在生物体内富集,毒害生物,并通过食物链,危害人体健康;不能被生物降解;在一定条件下,转化为毒性更大的物质,如三价铬转化为六价铬,无机汞转化为有机汞。

(3)其他非金属毒物

重要的非金属毒物包括含砷、硒、氟、氰、亚硝酸根等的化合物。其有害特性表现为毒性。

2. 有机类有害废物

(1)有机农药类

有机农药(包括杀虫剂,杀菌剂,除草剂等)分为有机磷、有机氯、有机汞三大类。使用过程中,农药残留及动植物体内积聚残留会对人体健康和环境造成较大危害。

(2)有机溶剂类

包括卤化有机溶剂和非卤化有机溶剂。前者多为毒性大,且在环境中的稳定的化合物。后者有害性表现为毒性和易燃性。

(3)其他有机毒物

包括挥发酚、多氯联苯(PCB)、苯并(a)芘等。它们的危害在于毒性大,可在生物体内积蓄。有些物质稳定性强,能在环境中长期留存。

3. 放射性有害废物

放射性是指不稳定原子核自发放出α、β、γ射线的现象。这些射线来自天然存在的放射性物质时,称为"天然放射线";通过核反应,来自人工制造出来的放射性物质时,称为"人工放射线"。动植物受到过量放射性物质辐照时,会引起白血病等放射病或烧伤。半衰期长的放射性物质,长期接触有积蓄作用,危害更大。

第三节　有害废物处理及安全处置技术
(Treatment and Safe Disposal of Hazardous Waste)

液体、气体和固体有害废物的处理和安全处置是有害废物管理、控制过程中的重要环节。其目的是通过采取处理和处置措施,使有害废物达到稳定化或无害化。

14.3.1　液体废物处理(Treatment of Liquid Waste)

液体有害废物种类繁多。来源不同时,有害废物的种类、浓度、毒性、排放量、固体含量等差别较大。目前多采用预处理与最终处理相结合的处理工艺进行处理。常用的处理方法包括:吸附法、离子交换法、化学中和法、化学沉淀法、氧化还原法、生化法等。

1. 吸附法

吸附法是指利用固体吸附剂,去除液体废物中有害物质的方法。一般来说,任何固体物质的表面对流体都具有一定的吸附作用。但可作为工业吸附剂使用的固体应具有如下特性:空隙率高,内比表面积大;吸附容量大;有足够的机械强度和化

学稳定性;有较好的吸附选择性;易于再生;价格低廉。

当液体有害废物与吸附剂接触时,根据固体表面吸附力的不同,产生物理吸附和化学吸附。物理吸附是通过吸附剂和吸附质之间的分子间引力(即范德华力)而产生的吸附。其特点为吸附无选择性、吸附和解吸速度快(为可逆吸附)、放热量小、低温下可发生。化学吸附是吸附剂与吸附质之间发生了化学作用,由化学键力引起的吸附。由于生成了新的化学键,因此,化学吸附放热量大,有选择性,需在较高温度下进行,且大多数化学吸附为不可逆吸附。

常用的吸附剂有吸附树脂、活性炭和腐殖酸类吸附剂等。

吸附树脂是一种具有主体网状结构,化学稳定性好,比表面积大的新型高分子有机吸附剂。根据其结构特性,可分为非极性、中极性、极性和强极性四类。由于吸附树脂结构可人为控制,且不溶于一般溶剂及酸、碱,因此,应用范围广,可广泛用于去除极性和非极性有毒、有害物质。

活性炭是一种非极性吸附剂。经活化处理,其比表面积可达 800～2000 m^2/g。活性炭生产原料来源广泛,几乎所有含碳物质均可用于生产活性炭。常用的原料有木材、煤、果壳、动物骨头等。用于液体有害废物处理的活性炭可制成粒状和粉末状,适宜于芳香烃、酚类、酮醛类等有机物的去除,同时,对汞、铬、砷、锡等无机物也具有良好的吸附能力。

腐殖酸类吸附剂是一种富含腐殖酸类物质,包含多种活性基团的吸附剂。它可由褐煤、泥煤、风化煤等经干燥处理制得,也可在富含腐殖酸的物质中加入黏合剂制成树脂,造粒成型后使用。腐殖酸类吸附剂主要用于去除铬、镉、汞、铅等重金属有毒、有害物质。

2 离子交换法

离子交换法是利用离子交换树脂中活性基团的可交换离子同液体废物中带同性电荷的有害离子进行交换反应,从而达到置换、分离、浓缩、去除有害物质目的的处理方法。离子交换树脂由母体和活性基团两部分组成。母体用线性高分子有机化合物加一定数量的交联剂制成,呈空间网状结构。活性基团由固定离子和可交换离子组成。固定离子与母体相连,可交换离子通过静电引力与固定离子结合在一起。

离子交换树脂可按树脂类型和活性基团的性质进行分类。按树脂类型可分为大孔型树脂、凝胶型树脂、多孔凝胶型树脂、巨孔型树脂等。按活性基团的性质可分为阳离子交换树脂和阴离子交换树脂。阳离子交换树脂含有呈酸性的可交换基团,并按该基团的可电离程度分为强酸性和弱酸性树脂;阴离子交换树脂含有呈碱性的可交换基团,并按该基团的可电离程度分为强碱性和弱碱性树脂。离子交换树脂去除液体废物中有害物质的能力在很大程度上取决于树脂的交换

选择性和交换容量。目前离子交换法广泛用于去除铜、镍、镉、锌、汞、有机物和放射性物质等。

3. 化学中和法

化学中和法是指向酸性废水中投加碱性物质或向碱性废水中投加酸性物质，通过酸、碱物质的中和反应，使废水呈中性的化学处理方法。该方法经常作为生化、物化处理工艺的预处理手段。常用的酸、碱物质有石灰、氢氧化钠、石灰石、硫酸、盐酸、高浓度二氧化碳气体(如含有 CO_2 的烟道气)等。化学中和法处理液体废物的主要目的是控制和消除它们的腐蚀性。

4. 化学沉淀法

化学沉淀法是指向液体废物中投加沉淀剂，使液体废物中的溶解性物质与之发生化学反应，生成难溶的固体沉淀物，然后进行固液分离，去除溶解性有害物质的方法。液体废物中的重金属离子、碱土金属离子和某些非金属离子可通过这种处理法去除。常用的沉淀法包括氢氧化物沉淀法、硫化物沉淀法、碳酸盐沉淀法、卤化物沉淀法和铁氧体沉淀法等。

5. 氧化还原法

氧化还原法是指向液体废物中加入氧化剂或还原剂，通过液体废物与氧化剂或还原剂之间发生的氧化还原反应，降低有害物质的毒性或溶解度，或者将有害物质转化为另一种易于处理的物质的处理方法。它包括氧化和还原两种处理工艺。

氧化工艺是利用诸如氯气、臭氧、次氯酸钠、次氯酸钙、双氧水和高锰酸钾等氧化剂的氧化作用，将液体废物中的有机物、还原性无机物氧化分解为无毒或低毒物质。

还原工艺主要用于含铬、汞、铅等有害物质的液体废物处理。通过加入还原剂，将有害物质还原为无害物质。例如以二氧化硫作还原剂，可将以重铬酸根形式存在的六价铬还原为三价铬，然后用碱性药剂调解 pH，使三价铬以氢氧化铬沉淀形式析出，经固液分离去除。常用的还原剂有亚硫酸盐、硫酸亚铁、二氧化硫等。

6. 生化法

生化法主要用于去除液体废物中可生物降解的有害有机物。它是利用微生物的新陈代谢，完成对可降解有机物的稳定化。在微生物的新陈代谢过程中，一部分有机物通过异化分解，转化为比较稳定的化学物质，如小分子的有机物或无机

物;另一部分通过同化合成,生成新的细胞物质。

有机污染物的生物化学转化是通过微生物(主要是细菌)的代谢作用来完成的。细菌可按对氧的需求,分为好氧菌、兼氧菌和厌氧菌。因此,生化法也就有好氧生物处理法和厌氧生物处理法之分。

(1)好氧生物处理

在好氧生物处理过程中,氧以游离氧的形式存在。液体废物中各种以胶体、溶解状存在的高能位有机物作为微生物的营养物,经过一系列的生化反应,逐级释放能量,最终以低能位的小分子有机物和无机物形式稳定下来,从而达到无害化的目的。与厌氧生物处理法相比,好氧生物处理具有反应速度快,时间短,条件温和,易于操作等特点。目前多用于低浓度有机废水的处理。通常采用的工艺有活性污泥法和生物膜法两大类。

①活性污泥法。活性污泥是一种包含大量具有生命活力微生物,并呈絮状的污泥。它是活性污泥处理过程中将有机污染物质转化为无害、稳定的有机和无机物质的主体。实际应用过程中,通过人工曝气的方式,一方面提供好氧微生物所需的游离氧,另一方面,使活性污泥呈悬浮状均匀分散在曝气池中。废水中的有机污染物与活性污泥充分接触,并作为营养物质,不断被活性污泥中的微生物所利用。利用方式包括异化分解和同化合成。通过异化分解,部分有机污染物被微生物氧化分解为简单的有机和无机化合物,同时释放出能量,用于满足微生物自身生命活动的能量需求。与此同时,通过同化合成,部分有机污染物被用于合成新的原生质,促进微生物的不断生长繁殖。从曝气池流出的含有活性污泥的混合液,进入二次沉淀池进行固、液分离。沉淀池底部排除的浓缩污泥,部分返回曝气池,以保持曝气池的微生物量;多余的污泥为剩余污泥,排出后进行消化处理。常用活性污泥法有普通活性污泥法、阶段曝气法、粉末炭活性污泥法、纯氧曝气法等。

②生物膜法又称生物滤池法。与活性污泥法不同的是微生物固着生长在滤池填料的表面,并形成生物膜。生物膜上生长繁殖着类型丰富、种类繁多的微生物,当废水流经填料表面时,与其上生长着的生物膜密切接触,有机污染物被微生物吸附、降解,得到稳定和无害化处理。处理过程中,微生物不断生长繁殖,生物膜厚度增加,在生物膜内部形成了兼氧和厌氧层。微生物厌氧代谢物的产生、生物膜的老化以及生物膜外部水流的搅动,降低了生物膜的附着力,并发生脱落,新的生物膜又开始生长。生物膜法处理废水就是在生物膜的生长、脱落、再生长、再脱落的周而复始的循环中完成的。

与活性污泥法相比,生物膜法产生的剩余污泥量较少,且不存在污泥膨胀的问题。近年来,随着塑料工业的迅猛发展,人们陆续开发出许多强度高、比表面积大、质量轻、价格低的新型填料。所有这些为生物膜法在含有机污染物废水处理中的广泛应用创造了条件。

(2)厌氧生物处理

厌氧生物处理是指在无氧条件下,利用兼性厌氧菌和专性厌菌的代谢作用分解废水中的有机污染物,实现有机污染物的降解、稳定和利用的过程。厌氧生物处理的反应过程通常包括两个阶段:酸性消化阶段和碱性消化阶段。在酸性消化过程中,兼性厌氧菌细胞首先释放出外酶,这时废水中不溶性大分子有机污染物发生水解,转化为水溶性的小分子化合物。接着,这些小分子化合物渗透进入微生物细胞内部,在细胞内酶的作用下,进一步转化为有机酸类化合物及二氧化碳、氢等无机物。因产生了有机酸类化合物,所以这一过程中,废水的 pH 下降,溶液呈酸性。碱性消化是在专性厌氧菌—甲烷菌的作用下完成的。代谢产物为沼气,其中含有大量甲烷,可作为燃料加以利用。

厌氧生物处理的优点是:

①不需曝气,动力消耗少。

②可处理浓度高、含难降解有机污染物的废水。

③厌氧微生物代谢产物是热值较高的含甲烷可燃气体,可作为能源加以利用。

缺点是反应过程缓慢,条件要求较为苛刻,运行操作要求高,运行过程不够稳定等。

14.3.2　气态废物处理(Treatment of Gaseous Waste)

环绕地球表面的大气层是一切生命体赖以生长繁殖所必需的物质之一。但是,人类的生产和生活活动以及各种自然灾害的发生,不断向大气排放着各种各样的污染物。当污染物的排放量较少、浓度较低时,大气可通过自身的净化作用,包括发生一系列的物理、化学和生化反应,减少甚至消除污染物带来的影响。可是,如果污染物排放的强度大、作用的时间长,大气无法依靠其自净能力消除污染物所带来的影响,则可认为产生了大气污染。污染的大气会对人体的健康和环境带来严重的危害。大气污染物按其存在形式可分为气态(溶解态)污染物和气溶胶态污染物。这里仅对气态污染物的处理进行介绍。目前常用的处理方法有吸收法、吸附法、催化转化法和燃烧法。

1. 吸收法

吸收法处理气态污染物是利用气体混合物中的各组分在一种或多种组分组成的液体中溶解度的不同而加以分离的操作过程。气体中可被吸收的组分称为吸收质,液体称为吸收剂。吸收时,吸收质与吸收剂间无化学反应发生的称为物理吸收;反之,称为化学吸收。

物理吸收是气态污染物在吸收剂中的简单物理溶解过程,吸收速率取决于气、液接触过程中吸收质在气、液接触界面双膜(气膜和液膜)中的扩散速率,因此,可

以说物理吸收只与相平衡有关。

化学吸收过程中,吸收质在相界面发生扩散的同时,还与吸收剂中的某一活性组分发生化学反应,从而降低了吸收液中吸收质的浓度,增加了传质推动力,提高了吸收效率。所以,化学吸收不仅与相平衡有关,还与化学反应速率有关。通常情况下,物理吸收和化学吸收往往同时存在,但化学吸收的处理能力和处理效果要远大于物理吸收。

吸收法特别适用于低浓度气态污染物的治理和控制,目前已广泛用于处理含二氧化硫、硫化氢、氮氧化物、氟化氢、氯化氢、氯气和某些有机物等气态污染物的废气,并成为控制气态污染物排放的重要技术之一。

2 吸附法

吸附是一种固体表面现象。一般来说,任何固体都具有吸附能力。但只有当这种固体具有较高的空隙率、较大的比表面积时,才会表现出较强的吸附能力。吸附法处理气态污染物就是利用某些具有较强吸附能力的固体吸附气体混合物中所含的一种或几种组分,并使其浓缩富集在固体表面,从而与其他组分分开的过程。被吸附到固体表面的物质称为吸附质,吸附质所依附的物质称为吸附剂。

依照吸附质和吸附剂之间作用力的不同,可将吸附分为物理吸附和化学吸附。物理吸附是由吸附质和吸附剂间的分子间力(即范德华力)引起的。分子间力是物质间普遍存在的引力,因此,物理吸附无选择性,且在低温下可发生,为可逆吸附。化学吸附是由吸附质和吸附剂之间的化学键力所造成的。由于发生了化学反应,因此吸附时放出较大的化学反应热,有较高的选择性。通常在较高温度下,发生不可逆吸附。

吸附过程可捕集气体中浓度很低的有害物质,因此,通常作为气体净化的最终把关手段,用于处理含低浓度有害物质的废气。常用的吸附剂包括活性炭、硅胶、分子筛、吸附树脂等。

3 催化转化法

在化学转化法处理气态污染物过程中,往往因某些化学反应速率低而使得这一方法的使用受到限制。人们在实践中发现,加入某种物质,可使反应速率大大加快,且该物质在反应前后并未发生化学变化,人们把这种物质称为催化剂。催化转化法就是利用催化剂的催化作用,将气态污染物转化为比原来更易除去的物质,并进一步加以回收利用,或转化为无害物质的一种方法。某物质是否可作为催化剂,应从催化活性、机械强度、选择性、稳定性、生产原料和制造成本等几方面进行评价和选择。

与上面介绍的吸收法和吸附法相比,催化转化法有以下特点:

①直接将污染物转化为无害物质。

②不产生需进一步处理的吸收剂或吸附剂,因此不会带来二次污染问题。

③处理工艺简单,操作方便,目前催化转化技术已在气体脱硫、脱氮,汽车尾气净化,有机废气和恶臭物质处理与控制等方面得到广泛应用。

例如经催化反应,硝酸生产尾气中的 NO_x 转化成无害的 N_2;冶炼尾气中的 SO_2 转化成 SO_3 后,进一步吸收制成硫酸。

4. 燃烧法

燃烧法主要用于控制工业生产中产生的含有可燃性物质的气体。为了彻底消除气体中的可燃物质,燃烧需要在高温、空气过量、气体高度湍动的条件下进行,即达到完全燃烧。否则,不完全燃烧形成的中间产物可能会比原来的污染物更为有害。

目前常用的方法有直接燃烧法、热力燃烧法和催化燃烧法。

直接燃烧不需添加辅助燃料,而是将含有可燃物质的有害气体作为燃料直接燃烧。直接燃烧的温度通常在 1100℃以上,燃烧产物为二氧化碳、氮和水蒸气等。可发生并维持直接燃烧的条件是可燃气体具有足以维持燃烧的热值;空气供给量充足并与可燃气体混合,形成具有一定流速的混合气体;引燃混合气体的火源。

热力燃烧是借助辅助燃料燃烧提供的热量,处理含有低浓度或低热值可燃组分的气体。其燃烧温度为 370～820℃。热力燃烧的条件为在供氧充足的情况下,满足"三 T 条件",即反应温度(temperature)、停留时间(time)和湍流(turbulence)混合。

催化燃烧是在催化剂的作用下,气体中的可燃物质在较低温度下实现分解燃烧。燃烧产物为二氧化碳和水蒸气等。催化燃烧温度低,反应速度快,不需供给过量的空气,因此,催化燃烧反应设备体积较小。该方法已广泛用于化工、石油化工生产尾气和汽车尾气处理。表 14.2 列出了燃烧法的分类和特点。

表 14.2　燃烧法分类及其特点

方　法	适应范围	燃烧温度/ ℃	燃烧产物	设备	特　点
直接燃烧	含有可燃组分且浓度高或热值高的废气	>1100	CO_2、H_2O、N_2 等	炉、窑或火炬管	有火焰燃烧,燃烧温度高,可燃烧掉废气中的炭粒
热力燃烧	含可燃组分浓度低或热值低的废气	370～820	CO_2、H_2O	热力燃烧炉	有火焰燃烧,需加辅助燃料,火焰为辅助燃料火焰,可燃烧掉废气中的炭粒
催化燃烧	不受可燃组分的浓度与热值限制,	300～450	CO_2、H_2O	催化燃烧	无火焰燃烧,燃烧温度最低,有时需电加热点火或维持反应温度

14.3.3 固态废物处理(Treatment of Solid Waste)

工业生产过程中,会有多种固态废弃物产生,其种类繁多,成分复杂,具有易燃、有毒、易反应的特性,必须进行妥善处理。固态废物按其对人体健康和环境的危害程度,分为一般固体废物和有毒、有害固体废物两类。这里仅对后者的控制和处理进行介绍。

1. 处理原则

对有毒、有害固体废弃物,必须进行处理,使其无害化,或通过采取严格的隔离措施,使其与人们的生产、生活环境相分离,以避免可能发生的对大气、水体和土壤的污染。处理过程应按着减少数量、降低或消除毒性和其他有害特性、对处理后的剩余废物合理处置的原则来进行。

2. 处理方法

固态有害废物的处理方法包括固化/稳定化法、热破坏法、土地填埋法等。

(1)固化/稳定化法

固化/稳定化是指在一定条件下,使固体废物与能起固化凝结作用的物质(通常称为固化剂)混合,经过一段时间产生固化,将有害物质包容、固定在固化剂中的过程。

固化是一个机械的包容过程,有害物质的化学性质在这一过程中并未发生改变。稳定化是一个化学过程,它使有害物质的溶解度和毒性降低。通过对固态有害废物的固化/稳定化处理,可达到如下目的:

①减少有害物质转移或散失的活动表面。

②改变有害物质的某些理化特性。

③降低有害物质的溶解性和毒性。

④有利于有害物质的控制、运输、储存、处理和处置。

目前常用的固化和稳定化方法包括水泥固化法、石灰固化法、热塑性材料固化法和有机聚合物固化法。

①水泥固化。水泥固化是将水泥(通常为建筑业常用的普通水泥)与废物直接混合,经一段时间固化后形成坚硬的泥块。在这一过程中,大多数有害物质的性质并未发生改变,因此,固化的泥块在后续的处置或利用过程中,有害物质有发生溶解和渗透的可能性。例如重金属有害物质在遇到酸性介质的条件下,会发生溶解和渗透。为防止这种现象的发生,对固化后的泥块需进行表面防渗处理。

②石灰固化。石灰固化是用石灰作基材,粉煤灰、水泥窑灰等作添加剂,对含硫酸盐或亚硫酸盐的废物进行固化。石灰固化中使用的添加剂本身是废物,来源

广、成本低,操作简单,不需要特殊设备。是一种以废治废,实现废物综合利用的有效方法。

③热塑性材料固化。热塑性材料固化是将废物加入熔化的热塑性物质中进行固化处理的物理过程。处理时,先将热塑性物质加热熔化,然后加入废物并混合均匀。因热塑性物质熔化温度较高,废物在这里受热干燥,体积减小,进而固化,最后形成坚硬且易形变的固体。目前常用的热塑性物质有沥青、石蜡、聚乙烯等。

④有机物聚合固化。有机物聚合固化是将脲醛树脂和某些其他有机聚合物与废物混合,经化学催化聚合反应,将废物固化在海绵状聚合物中的过程。它适用于不溶性固体废物的固化处理。固化过程需要特殊的设备和素质较高的操作人员。

(2)热破坏法

固体废物有一定的热值时,可采用热破坏法进行处理。它包括焚烧法和气化法。目前应用较多的是焚烧法。焚烧是利用加热燃烧的方法将固体废物转化成体积较小、毒性较低的物质的过程。但在采用焚烧法处理固体废物时,要特别注意焚烧产物可能对环境产生的二次污染。若固体废物仅含有碳、氢、氧构成的有机物和无毒、无害的无机物灰分,焚烧时,只要保证良好的燃烧条件,焚烧产物为二氧化碳、水蒸气和灰分,对环境不会产生不良影响。但对含重金属、硫、氮、磷、卤素等的固体废物进行焚烧时,必须考虑对焚烧产物的二次处理。

固体废物能否完全燃烧,实现无害化,主要取决于以下因素:

①固体废物的可燃性。可燃性实际反映的是物质在正常燃烧的条件下被氧化分解的难易程度。一般来说,燃烧热值高,自燃点、闪点低的物质可燃性好。

②燃烧温度。燃烧温度取决于可燃废物氧化分解的速率和完全分解的程度要求。高温下燃烧,可促进难以燃烧物质的氧化分解,同时加快可燃物质氧化分解的速率。但高温燃烧需消耗大量的空气、辅助燃料(需要时),对制造燃烧设备的材料要求较高。

③停留时间。停留时间的长短与固体废物的可燃性、燃烧温度、空气和辅助燃料(需要时)的供给量、固体废物与空气和辅助燃料的混合程度有关。

由于固体废物成分复杂,因此,实际工程设计中,应通过实验确定以上因素对完全燃烧的影响程度。适用于固体废物焚烧的炉型有回转窑、多膛炉和流化床等。

(3)土地填埋法

长期以来,土地填埋法一直被人们认为是一种简单、经济、适用的有害废物处置方法。但由于填埋场场址选择不合理,结构设计上的缺陷,管理、操作和监控手段的落后,使这一方法在实际使用过程中存在许多隐患,有时甚至对环境和公众安全构成严重威胁,例如渗滤液对土壤、地下水的污染,填埋气体对大气的污染等。因此,科学、合理的选址,正确的结构设计以及规范化的操作、管理成为土地填埋法

处理有害废物的关键。

①填埋场选址标准。填埋场场址的选择与许多因素有关。例如场址所在地的总体规划,地质、水文、气象条件,土壤特性,交通运输状况,自然灾害影响情况,自然、文化保护设施、工业企业、居民区分布情况等。通常情况下,应选择两个以上的场址,通过资料搜集,现场踏勘,方案论证、比较,从技术、经济的角度,科学、合理地确定场址。表 14.3 列出了适合建造有害废物处置设施场地的一般性标准。

表 14.3 有害废物填埋场选址标准

场地特性	场地本身固有的地质、水文以及土壤特性等要有充分的说明
位 置	场地应具备一个稳定的土地处置设施的位置,且不会因自然或人为的因素而受到损坏。场地有稳定的水文地质条件
监 测	地下水和其他污染物可迁移经过的地方都需要进行监测
土地保护	填埋场不应设在历史古迹遗址、公园、重要的农业区以及野生动植物保护区内

②结构设计。填埋场结构设计应考虑多重防护系统,包括防渗系统、渗滤液收集系统、填埋气排放系统等。防渗系统包括填埋场四壁和底部的防渗以及有害废物填满后顶部的防渗两个部分。四壁和底部应有二至三层防渗层,外层选用渗透率低的黏土建造,内层采用合成材料,底部有一定的坡度。每二层之间设有渗滤液收集系统,填埋场中设有通风系统。废物填满后,顶部用低渗透材料覆盖,且有一定坡度,以减少雨水渗入。

③操作管理和监控。填埋时,应尽可能按有害废物的物理、化学特性划区分类填埋。若填埋物今后有可能被取出回收利用时,应做好该填埋物所处位置标识。填埋场中设置足够数量的监测井,定期监测填埋物的变化情况。同时,定期对填埋场外四周土壤取样分析,判断防渗层是否损坏,并有渗滤液渗出。

参考文献

巴斯顿等. 1993. 有害废物的安全处置. 北京:中国环境科学出版社

陈复. 2000. 水处理技术及药剂大全. 北京:中国石化出版社

陈湘筑. 1999. 环境工程. 北京:教育科学出版社

胡名操. 1990. 环境保护实用数据手册. 北京:机械工业出版社

化学名词审定委员会. 1991. 化学名词. 北京:科学出版社

蒋展鹏. 1992. 环境工程学. 北京:高等教育出版社

栗田工业水处理药剂手册编委会编. 章振癍译. 1991. 水处理药剂手册. 北京:中国石化出版社

刘天齐. 2000. 环境保护. 北京:化学工业出版社

唐受印,汪大 等. 1998. 废水处理工程. 北京:化学工业出版社

王宝贞. 1990. 水污染控制工程. 北京:高等教育出版社

张希衡. 1992. 水污染控制工程. 北京:冶金工业出版社

Johnson Barry L. 1999. Impact of Hazardous Waste on Human Health. New York: Lewis Publishers, CRC Press

LLC Boca Raton

Likhachev H I. et al. 1986. Design Handbook of Wastewater System. New York: Allerton Press, Inc.

Mckay Gordon. 1995. Use of Adsorbents for the Removal of Pollutants from Wastewaters. New York: CRC Press

Muller K R. et al. 1986. Chemical Waste-Handling and Treament. Berlin: Springer-Verlag

Watson Jack S. 1999. Separation Methods for Waste and Environmental Applications. New York: Marcel Dekker, Inc.

第十五章　噪声与振动公害控制

第一节　声波的基础知识
(The Basic Knowledge of Sound Wave)

在人们日常的工作、学习和生活环境中,存在着各种各样的声波。但由于声波是一种看不见,摸不着的"波",所以许多人对声波的概念、特性、传播方式、作用等有着模糊的认识。实际上,声波是由物体机械振动引起,并在弹性媒质中进行传播的一种机械波。它起源于发声体的振动,在弹性媒质存在的空间内,通过媒质质点之间的相互机械振动,将声波由近及远地传播出去。当声波传入人耳时,会引起鼓膜振动,并刺激听觉神经,使人们产生了声的感觉。但并不是所有的声波都可被人们听到,高频声波(频率超过 20000Hz 的超声波)和低频声波(频率低于 20Hz 的次声波)一般不能使人产生声的感觉,只有频率在两者之间的声波,人们才能听到,其中,对频率在 3000～4000Hz 的声波最敏感。由此可见,物体的机械振动是声波产生的根源,弹性媒质的存在是声波传播的必要条件。

发射声能的振动系统我们称为声源,如音响、乐器、加工机械、交通工具、人的口等。弹性媒质,也称弹性介质,是指物理过程(如力和能量的传递)可在其间进行,并在受到外力作用时产生形变,外力消失后形变随之消失的物质。这种物质可以是气体、液体和固体。声波在弹性媒质中传播时,若声波的传播方向与媒质的质点振动方向相同,这种波称为纵波;若声波的传播方向与质点的振动方向垂直,则称为横波。声波在气体和液体中是以纵波方式进行传播,在固体中则以纵波和横波两种形式进行传播。

人们在对声波以及声波的传播方式等进行描述时,常用到以下几个基本概念:

(1)声波波长

声波在媒质中传播时,媒质质点的振动位移、振动速度会随着时间作周期性变化。在某一时刻从某一个密度最稠密或最疏松的地点到相邻的一个最稠密或最疏松的对应地点之间的距离,称为声波波长。

(2)声波频率

单位时间内媒质质点振动的次数,称为声波的频率。波长、频率之间有如下关系

$$c = \lambda \times f \tag{15.1}$$

式中:c 为声速,m/s;λ 为声波波长,m;f 为声波频率,s^{-1}。

声波传播过程中,质点的振动呈周期性变化,每重复一次所需时间叫周期,用符号 T 表示。则

$$T = 1/f \tag{15.2}$$

式中: T 为声波周期,s; f 为声波频率,s^{-1}。

在国际标准计量单位制中,频率的单位用赫兹(Hz)表示,1 Hz = 1 s^{-1}。

(3)声波相位

声波相位是指声波在传播过程中,某一质点在某一时刻振动的位移和运动的方向发生的变化。

(4)波阵面

声波在传播过程中,同一时刻相位相同的轨迹称为波阵面。

(5)平面声波

波阵面与传播方向垂直的波称为平面声波。此时声源发声面的几何尺寸远大于声波的波长,人们感觉到的是向一个方向进行传播,并带有很强方向性的声音。

(6)球面声波

若声源发出声波的波长远大于声源的几何尺寸,则可把声源看成一点,称为点声源。点声源在各向同性的均匀媒质中发声时,声波向四面均匀传播,且在同一半径的球面上,声波相位相同。声波传播时,以声源为中心,向四面发送的由一系列同心球状波阵面组成的声波叫球面声波。

(7)声压和声压级

声波在空气中以疏密波的形式进行传播。它本身具有能量,因此其传播过程是一个不断通过媒质质点振动消耗能量的传播过程。为了对声波的强弱进行度量,引入了声压和声压级的概念。声压是指声波在媒质中传播时产生的压强改变量。它随时间的变化而改变。声压的单位为 Pa(1Pa = 1 N/ m^2)。声压级是表示声压强度相对大小的指标,是一个声音的声压与基准值(相当于人耳所能听到的声音的最低声压,2×10^{-5} Pa)之比值的常用对数乘以 20 的积,单位为分贝(dB)。人耳的听觉能感觉到的声压范围较宽,例如对 1000 赫兹的纯音,声压范围为2×10^{-5}～20Pa,相应声压级范围为 0～120 dB。

第二节　噪声的危害和评价
(The Harmfulness and Appreciation of Noise)

人们无时无刻不生活在有声的世界中。声音可以给人们的工作、学习和生活带来便利、愉悦和享受,也可能对人体健康和环境产生危害。人们通常将物体无规律振动产生的,由不同频率和不同强度的声音组合在一起的嘈杂之声叫做噪声。噪声是世界公认的公害之一,它对人们的生活、工作、学习和休息都产生不同程度

的影响,直接危害到人们的身体健康。其危害主要表现在:影响人们的身体健康。如诱发疾病,损伤听力,甚至导致耳聋。影响人们的休息,引起人们的生理和心理状态发生改变,降低工作效率。表 15.1 列出了噪声声压级及干扰状况。

表 15.1 噪声压级及干扰状况

噪声声级/ dBA	主观感觉	能进行正常交谈的最大距离/ m	电话通话质量
45	安静	10	很好
55	稍吵	3.5	好
65	吵	1.2	较困难
75	很吵	0.3	困难
85	太吵	0.1	不可能

多年来,科学家们对噪声的危害和影响进行了研究,提出了许多评价指标和方法,为人们正确认识噪声,评价和控制噪声,降低甚至消除噪声对人体健康及环境的危害和影响,提供了定性和定量的评价量及计算方法。

15.2.1 噪声的危害和影响(The Harmfulness and Influence of Noise)

1. 噪声的生理效应

噪声所导致的人体生理变化称为噪声的生理效应。据调查,严重危害人类健康的心脏病的发展和恶化与噪声有关。实验结果表明,人体处于噪声环绕的环境时,会产生紧张反应,肾上腺素增加,从而引起心率改变和血压升高。例如,人们通过调查发现,在机器轰鸣的机械加工车间工作的工人易患循环系统疾病;在机场附近居住,经常暴露于飞机噪声下的儿童比安静环境下的儿童血压要高。

2. 对神经系统的影响

人体的神经系统是由神经细胞组成的。其主要作用是调节人体各器官的活动,以及对机体和外界环境进行统一和协调。在神经系统中,中枢神经系统又是最重要和最高级的部分。当噪声作用于人的中枢神经系统时,会使人的基本生理过程——大脑皮层的兴奋和抑制平衡失调,导致条件反射异常,出现神经衰弱症状,例如失眠、疲劳、头晕、头痛、记忆力衰退等。这些症状是因神经系统功能失调引起的,但目前的医学检查手段还无法发现与这些症状相应的形态方面或病理、生理方面的变化,医学上将这种症状称为神经衰弱症。

此外,强噪声刺激人体内耳腔的前庭,还会使人产生恶心、呕吐、眩晕等症状,进而引发消化系统疾病。

3. 对心血管系统的影响

近年来,科学家们通过观察噪声带来的人体血压、脉搏、心律和心电图变化,研

究噪声对心血管系统的影响。研究发现,噪声使人的呼吸、脉搏、血压发生变化,全身血管收缩,供血减少。有资料表明,在高噪声环境下(例如超过 120dB)工作的人比在低噪声或安静环境下工作的人易患高血压、动脉硬化和冠心病。

4. 对听力的影响

耳是人的听觉和位觉(平衡感觉)器官。它由外耳、中耳和内耳三部分组成。外耳的作用是收集声波,并将声波传至鼓膜,引起鼓膜振动;中耳内三块彼此相连的听小骨(锤骨,砧骨和镫骨)将鼓膜的振动传至内耳;内耳的听觉神经受到刺激后产生振动信号,并将振动信号传送给大脑,使人产生听觉和位觉。当人们听觉器官受到强烈的噪声刺激时,就会发生听力障碍,严重时造成听力损伤。

听力损伤分为暂时性听力损伤和永久性听力损伤。大量调查和实验表明,当人们长期工作在有噪声存在的环境中时,听力是否受到损伤及损伤的程度与噪声的声压级和人们与噪声的接触时间有关。一般来说,人们在噪声声压级小于 80 分贝的环境中长期工作,不会造成耳聋。噪声声压级超过 90dB 时,随着声压级的增加以及与噪声接触时间的延长,噪声性耳聋的发病率明显提高。国际标准化组织曾规定,暴露在强噪声下,对 500Hz、1000Hz 和 2000Hz 三个频率的平均听力损失超过 25dB,则称为噪声性耳聋。

实际生活中经常发生这样的情况,有人在短时间内接触了噪声,立刻出现了头晕、耳鸣、听力下降等身体不适症状;但离开强噪声环境一段时间之后,这些症状消失,身体又恢复了正常。这是因为人的听力变化有个听力损失的过程。衡量听力损失的量是听力阈级。阈级越高,听力损失的程度越大。由噪声引起的阈级提高,叫噪声性阈迁移。阈迁移分暂时性阈迁移和永久性阈迁移。离开噪声环境,经过一段时间休息,听力可以恢复的听力损伤称为暂时性听力损伤,听力损失的过程是一个暂时性阈迁移过程。但如果在强噪声环境中暴露时间过长,离开噪声环境后,经休息听力不能恢复,则发生了永久性听力损伤,听力损失的过程为永久性阈迁移过程。

噪声对人耳的伤害主要发生在中耳和内耳两个部分。如内耳听觉神经受损,鼓膜穿孔,中耳听小骨骨折等。

5. 对睡眠的影响

睡眠是一种与觉醒呈周期性交替出现的状态。人通过睡眠,脑疲劳和机体疲劳得以消除,身体的各项功能得以恢复。所以充分的睡眠是保持人体健康的重要因素之一。通过调查和研究人们发现,在噪声声压级小于 40dB 的环境中,人可以进入深度睡眠状态,机体功能,特别是脑功能可以得到较快的恢复。当声压级超过 50dB 时,噪声就会影响人的睡眠和休息,人处于浅睡眠状态,睡眠的质量和数量下

降。睡眠不足,疲劳不能消除,正常生理功能和工作效率受到影响,易出现心烦、注意力不集中、听力下降、反应迟缓等症状。

15.2.2 噪声的分类(Category of Noise)

噪声是人们所不需要的声音。它种类繁多,来源广泛。人们通常按来源将噪声分为两类:工业交通噪声和生活噪声。从噪声的危害和影响来看,工业交通噪声远大于生活噪声,因此这里仅对工业交通噪声的有关内容进行介绍。表 15.2 和表 15.3 分别列出了典型机动车辆噪声和建筑施工机械噪声。

表 15.2 典型机动车辆噪声

车辆类型	加速噪声/ dBA	匀速(50km/ h)噪声/ dBA
重型载重汽车	88～93	84～89
中型载重汽车	85～91	79～85
轻型载重汽车	82～90	76～84
公共汽车	82～89	80～85
中客车	83～86	73～77
小轿车	78～84	69～74
摩托车	81～90	75～83
拖拉机	83～90	79～88

表 15.3 典型建筑施工机械噪声

设备名称	噪声声级/ dBA
推土机	78～96
搅拌机	75～88
气 锤	80～98
混凝土破碎机	80～90
卷扬机	95～105
压缩机	75～88

按噪声产生的机理,工业交通噪声可分为机械性噪声、空气动力性噪声和电磁性噪声。

1. 机械性噪声

机器部件在机械力的作用之下,会发生相对运动。相对运动的部件之间因撞击、摩擦而产生振动,人们把这种由振动形成的噪声称为机械性噪声。由此可见,机械性噪声是由固体的振动而产生的。织布机、球磨机、汽锤、车床、刨床、电锯等发出的噪声都属于机械性噪声。

2. 空气动力性噪声

空气动力性噪声是高速气流或不稳定气流中由于涡流或压力的突然改变引起气体的振动而产生的。工业生产中常用的引风机、鼓风机、空压机、排气(汽)管等产生的噪声是空气动力性噪声。

3. 电磁噪声

电磁噪声是由电磁场脉动、伸缩变化,引起机械部件或电气部件振动产生的。变压器、电动机、发电机等发出的噪声均为电磁噪声。

15.2.3　描述噪声的物理量(Description of Physical Characteristic of Noise)

1. 声压级

声压级是表示声压强度相对大小的指标,用符号 L_P 表示。其计算公式为

$$L_P = 20 \cdot \lg(P_e / P_o) \tag{15.3}$$

式中: L_P 为声压级,dB; P_e 为待测声压有效值,Pa; P_o 为基准声压值,Pa。

在空气中,基准声压值 P_o 为 2×10^{-5} Pa,这个数值是正常人耳对 1000Hz 声音刚刚能够觉察到的最低声压值。

2. 声强

声强又称声强度,是指声波在传播过程中,单位时间内通过与指定方向相垂直的单位面积的声能。单位 W/m^2。声波本身具有能量,传播过程伴随着振动声能的传播。因此,声强的大小反映了声音的强弱。

3. 声强级

声强级是表示声强强度相对大小的指标,用符号 L_I 表示。其计算公式为

$$L_I = 10 \cdot \lg(I / I_o) \tag{15.4}$$

式中: L_I 为声强级,dB; I 为待测声强值, W/m^2; I_o 为基准声强值, W/m^2。

在空气中,与基准声压值 $P_o = 2\times10^{-5}$ Pa 相对应的基准声强值 $I_o = 10^{-12}$ W/m^2。因此,式(15.3)、(15.4)也可以写成

$$L_P = 20 \cdot \lg P_e + 94 \tag{15.5}$$

$$L_I = 10 \cdot \lg I + 120 \tag{15.6}$$

4. 声功率

声源在单位时间内发射出的声波能量叫声功率,用符号 W 表示,单位为 W。

声功率是从能量角度描述声波的特性,反映声源向外辐射声波能量多少的物理量。

5. 声功率级

声功率级用符号 L_w 表示,其定义为被量度声源的声功率与基准声功率比值的常用对数乘以 10,即

$$L_w = 10 \cdot \lg(W / W_o) \tag{15.7}$$

式中: L_w 为声功率级,dB; W 为待测声功率值,W; W_o 为基准声功率值,W。

在空气媒质中,基准声功率值 W_o 取 10^{-12} W,则式(15.7)还可写成

$$L_w = 10 \cdot \lg W + 120 \tag{15.8}$$

6. 声波频谱

含单一频率的音是纯音,而噪声则是由具有多种频率声波组成的复合音。声波频谱是用来描述不同声音中,各个频率或各个频段上的声能量分布的图形。常用的频谱图有线状谱、连续谱、复合谱三种。线状谱是不连续的线状谱,表现在频谱图上是一系列平行于纵坐标的直线。连续谱是在一定频率范围内含有连续频率成分的谱,在频谱图中是一条连续曲线。复合谱是不连续频率成分和连续频率成分组成的谱。频谱图中,横坐标为频率,纵坐标为声压级(或声强级,声功率)。在进行频谱分析时,通常将横坐标分为若干相连的小段,每一段称为一个频带或频段,并认为每一频带内声能量是均匀的,然后进行不同频带上的能量分布研究。

15.2.4 噪声的主观评价(Subjective Appreciation of Noise)

1. 响度与响度级

响度是用于描述听觉所估计的声音轻响程度的指标,也叫“声量”或“音量”。它与声强、频率和波形有关,用符号 N 表示,单位是宋或毫宋。1 宋的响度为 1 毫宋的一千倍。响度涉及人的主观评价,也就是说,人耳对不同频率的声音的主观感受是不同的。例如,分贝数相同(即其声强级,声能量相同)的两个声音,频率不同时,人耳听起来的感觉却不相同。频率高的声音比频率低的声音听起来要“响”。

为了使人耳对频率的响应与客观量声压级联系起来,采用响度级来定量地描述这种关系。它是以 1000 Hz 的纯音为基准,通过对听觉正常的人进行大量比较试听的方法来定出声音的响度级。它的定义是以频率为 1000Hz 的纯音的声压级为其响度级。也就是说,对于 1000Hz 的纯音,它的响度级就是这个声音的声压级。测试时,将某一频率的纯音与一个 1000Hz 的纯音进行试听比较,调节 1000 Hz 纯音的声压级,当两者听起来一样响时,1000 Hz 纯音的声压级就被定义为这一待测频率纯音的响度级。响度级用符号 L_N 表示,单位为方。

2　等响曲线

对各个频率的声音都作这样的测试,以声音的频率作横坐标,以声压级为纵坐标,将在听觉上感觉相同的各点连成曲线,这样可得到一组曲线。我们把这组曲线称为等响曲线。在同一条曲线上的每个频率的声音在感觉上都一样响,它们的响度级都是这条曲线上 1000Hz处的声压级值。

前面已经提到,高频声波(频率超过 20000Hz的超声波)和低频声波(频率低于 20Hz的次声波)一般不能使人产生声的感觉,只有频率在两者之间的声波,人们才能听到。另外,即使声频在 20～20000Hz的范围内的声音也不是都能被人耳听到。在众多等响曲线中,有一根响度级为零方的等响曲线,它表示人耳刚刚能听到的声音的强弱,叫听阈。低于这根曲线的声音人耳听不到。除听阈外,还有痛阈,同样,在众多等响曲线中也有一根代表痛觉的相应的等响曲线,超过此曲线的声音人耳也无法听到。人耳可听之声介于听阈和痛阈之间。

3　计权声级和 A 声级

噪声是由具有各种频率声波组合而成的复合声。为了能用声级计直接测量出噪声评价的主观量,人们在声级计放大线路中设置了计权网络,用于模拟人耳的响度级频率特性。这时用声级计测量出的结果称为计权声级。计权网络分 A、B、C 三档,测得的噪声级分别称为 A 声级、B 声级和 C 声级。声级单位为分贝(dB),使用时需标明计权网络名称,如 dBA、dBB、dBC。它们是按国际电工委员会规定选取接近人耳对声音频率响应的几条等响曲线设计的,分别模拟人耳对 40 方、70 方和 100 方纯音的响应。其中,A 计权网络对接收通过的 500Hz以下低频段的声音有较大的衰减,且测得的声级与由宽频率范围噪声引起的对人耳的损害程度相关性较好,因此,A 计权声级广泛用于噪声的主观评价中。

4　等效连续声级

A 声级用于对连续稳态噪声的评价是一种较好的方法,但不适用于声级起伏或不连续的噪声。因此人们提出了用噪声能量按时间平均的方法评价噪声对人的影响,即等效连续噪声级,并用符号 L_{eq}表示。计算某一时间段内的等效连续声级时,先将该时间段分为 n 个小区间,并分别测量各小区间段的 A 声级,然后按式(15.9)计算等效连续声级。

$$L_{eq} = 10 \cdot \lg\{(10^{L_{A1}/10} + 10^{L_{A2}/10} + \cdots + 10^{L_{Ai}/10} + \cdots + 10^{L_{An}/10})/n\} \tag{15.9}$$

式中,L_{Ai}为第 I 个区间 A 声级测量值,单位为分贝 A(dBA)。

【例】 两台车床的噪声同为80dB(A),一台连续工作8小时,另一台每小时中停半小时,工作半小时,工作时间也是8小时。求两台车床的等效连续声级。

【解】 第一台车床连续工作,发出的是连续稳态噪声,A计权声级为80dB(A)。根据式(15.9),n=1,则:

$$L_{eq} = 10 \cdot \lg 10^{L_A/10} = 10 \cdot \lg 10^{80/10} = 80(\text{dBA})$$

从计算结果我们可知,如果噪声是稳态的,等效连续声级等于A计权声级。

将第二台车床的八小时工作时间分为16个区间,每半小时为一个区间。工作的半小时中,A声级为80dB(A),停止工作的半小时中,A声级为0dB(A)。由式(15.9),n=8,则:

$$L_{eq} = 10 \cdot \lg\{(10^{80/10} + 10^{0/10} + \cdots + 10^{80/10} + 10^{0/10})/16\}$$

$$= 77(\text{dBA})$$

计算结果表明,第二台车床的等效连续声级为77dB(A),即相当于一台连续工作8小时,噪声为77dB(A)车床的噪声级。

第三节 噪声的测量
(Measurement of Noise)

噪声测量是借助测量仪器在现场对环境噪声实施测量。测量结果是人们评价、研究噪声对人类健康和环境的危害和影响,提出有效预防和控制措施的重要指标之一。目前常用的测量仪器是声级计、滤波器和频谱分析仪。

(1)声级计

声级计主要由传声器、放大器、A、B、C计权网络、衰减器、检波器输出仪表等几部分组成,可用于测量总声压级和计权声级。按其测量精度分为精密声级计和普通声级计。普通声级计通常用于室外噪声测量,有的只有A计权网络,有的具有A、B、C三种计权网络。实验室使用的声级计是精密声级计,它除带有A、B、C计权网络外,还有外接滤波器插口,可进行频谱分析。计权网络A、B、C是按国际电工委员会规定选取接近人耳对声音频率响应的几条等响曲线设计的,A计权网络频响曲线相当于40方等响曲线的倒置曲线,B为70方,C为100方。测量时,应根据声级大小选用相应计权网络进行测量,测量结果标明计权网络名称,如dBA、dBB、dBC。人们经过多年的实践和研究发现,用A计权网络测得的声级与由宽频率范围噪声引起的烦恼和对听力危害程度的相关性较好,而且用单一声级测量又比较方便,因此,目前多用A计权网络进行一般宽频噪声测量。

(2)滤波器

滤波器是一种只容许某一频率范围的电信号通过,阻止此频率范围以外的电信号通过的四端网络。它对所通过的频率范围(即通带)的电信号呈现低于预定值

的衰减,而对所阻止的频率范围(即阻带)的电信号呈现显著衰减。划分通带和阻带的频率称为滤波器的截止频率。

滤波器一般由线圈、电容器、电阻器等元件组成。滤波器的种类很多,按通过的频率可分为高通、低通、带通和带阻滤波器。按频带宽度不同可分为狭带滤波器、恒定带宽滤波器和恒定百分率滤波器。噪声测量中常用 1 倍频程滤波器和1/ 3 倍频程滤波器。

频带划分时,一个频程包含有一定带宽的频带,并有上、下截止频率和代表该频带的中心频率。每一频带的中心频率和上、下截止频率的关系可用式(15. 10)表示:

$$f_c = (f_1 / f_2)^{1/2} \tag{15.10}$$

式中: f_c 为中心频率, Hz; f_1 为上截止频率, Hz; f_2 为下截止频率, Hz。而上、下截止频率之间的关系可表示为

$$f_1 = 2^n \times f_2 \tag{15.11}$$

式中: n 为倍频程数; f_1 为上截止频率, Hz; f_2 为下截止频率, Hz。 n = 1 时是 1 倍频程; n = 1/ 3 时是 1/ 3 倍频程。

(3)频谱分析仪

频谱分析仪是能分析电信号在整个频谱上示出全部频率分量情况的仪器。把声级计和滤波器组合起来即可构成频谱分析仪。安装时,将滤波器的输入端和输出端分别接到声级计的“外接滤波器输入”和“外接滤波器输出”插孔,声级计的计权开关置于“外接滤波器”,这时滤波器即插入到声级计输入放大器和输出放大器之间。频谱分析仪可用来对噪声进行频谱分析。当噪声声波产生的电信号通过滤波器时,信号中各组成部分按频率被分离出来,并可通过记录器(或示波器)记录(或显示)全部频谱。通过频谱分析,可以帮助我们了解噪声源的频率特性,以便针对高频带噪声提出有效的治理措施。

第四节　吸　　声
(Sound Absorption)

人耳接收到的噪声可能是从噪声源经空气媒介直接传播过来的直达声,也可能是经过各种物体表面反射回来的混响声。吸声就是通过在噪声源周围设置吸声材料或吸声结构吸收声能,降低噪声声波继续直线传播或反射传播的强度。它是降低噪声,特别是室内噪声的重要方法之一。

15.4.1 多孔材料的吸声机理和影响吸声性能的因素(The Mechanism of Sound Absorption and Influencing Factors of Sound Absorption in Porous Material)

1. 吸声材料

吸声材料是具有大量通达表面的连续气孔,并对声音有较大吸收能力的材料。常见的吸声材料有玻璃棉、矿物棉、软质纤维板、木丝板、聚氨酯泡沫塑料、水泥膨胀珍珠岩、岩棉板等。

2. 多孔吸声材料的吸声机理

在吸声材料表面和内部有无数不规则的微细孔隙,孔隙之间互相贯通。当声波到达材料表面时,部分声波直接射入微孔,部分声波遇到吸声材料的阻碍,并在边缘发生展衍(衍射)现象,经衍射进入微孔。声波的进入,引起吸声材料孔隙内空气分子和构成材料中细小纤维的振动。由于空气与孔隙内壁之间的摩擦阻力,空气分子之间的黏滞阻力以及空气与吸声材料之间的热能交换,使大部分声能不断转化为热能而消耗,结果使反射出去的声波能量大大减少,这就是多孔吸声材料的吸声原理。

3. 多孔吸声材料的吸声特性及影响因素

多孔材料的吸声特性与材料的性质有关。材料吸声能力的大小可用吸声系数衡量。吸声系数定义为被吸收声能和入射声能之比,即

$$\alpha = (E_a + E_t)/E_i \tag{15.12}$$

式中:α为吸声系数;E_a为材料本身吸收的声能;E_t为透过材料的声能;E_i为声波入射至材料的总声能。

声波遇到吸声材料时,部分被吸收,部分被反射,还有一部分透过吸声材料。因此,由式(15.12)计算出的吸声系数α在0～1之间。$\alpha=0$时,表示入射声波被全部反射,材料本身不吸声;$\alpha=1$时,表示入射声波被全部吸收,材料的吸声性能最佳。表15.4给出了常用多孔吸声材料的吸声系数。

从表15.4可以看出,材料的吸声性能受以下几方面因素的影响:

(1)材料的容重

容重是指单位体积物体的质量。如果某物体没有空隙,则该物体的容重等于其密度。为了更直观地说明容重对材料吸声性能的影响,我们引入空隙率的概念。空隙率等于材料中所有空隙体积与材料总体积之比。空隙率、容重和密度三者之间的关系可用式(15.13)表示

表 15.4　常用多孔吸声材料吸声系数

材料名称	容重 /(kg·m⁻³)	厚度 /cm	各频率下的吸声系数					
			125	250	500	1000	2000	4000
超细玻璃棉	15	2.5	0.02	0.07	0.22	0.59	0.94	0.94
	15	5	0.05	0.24	0.72	0.97	0.90	0.98
	15	10	0.11	0.85	0.88	0.83	0.93	0.97
	20	5	0.10	0.35	0.85	0.85	0.86	0.86
	20	10	0.25	0.60	0.85	0.87	0.87	0.85
矿物棉	240	6	0.25	0.55	0.78	0.75	0.87	0.91
	240	8	0.35	0.65	0.65	0.75	0.88	0.92
	150	8	0.30	0.84	0.93	0.78	0.93	0.94
聚氨酯泡沫塑料	40	4	0.10	0.19	0.36	0.70	0.75	0.80
	45	8	0.20	0.40	0.95	0.90	0.98	0.85
木丝板		2	0.15	0.15	0.16	0.34	0.78	0.52
		4	0.19	0.20	0.48	0.79	0.42	0.70
		8	0.25	0.53	0.82	0.63	0.84	0.59
水泥膨胀珍珠岩板	350	5	0.16	0.46	0.64	0.48	0.56	0.56
	350	8	0.34	0.47	0.40	0.37	0.48	0.55
矿渣水泥膨胀珍珠岩砖		11.5	0.38	0.54	0.60	0.69	0.70	
岩棉板	80	2.5	0.04	0.09	0.24	0.57	0.93	0.97
	150	2.5	0.04	0.09	0.32	0.65	0.95	0.95
	80	5	0.08	0.22	0.60	0.93	0.976	0.985
	120	5	0.1	0.30	0.69	0.92	0.91	0.965
	150	5	0.115	0.33	0.73	0.90	0.89	0.963
	80	7.5	0.31	0.59	0.87	0.83	0.91	0.97
	80	10	0.35	0.64	0.89	0.90	0.96	0.98

$$\theta = (1 - r/d) \times 100 \tag{15.13}$$

式中：θ 为材料的空隙率；r 为材料的容重，g/cm^3；d 为材料的密度，g/cm^3。

对同一吸声材料来说，空隙率降低，对低频噪声有较好的吸声效果，但对高频噪声的吸声效果下降；孔隙率增加，虽然对高频噪声有较好的吸收，但材料的总吸声效果显著降低。一般来说，各种吸声材料均有其最佳的空隙率。

(2)材料的厚度

一般说来，多孔吸声材料的高频吸声系数较高，吸声效果好，而低频吸声系数较低，吸声效果差。材料厚度增加时，对同一频率声波的吸声系数增大；对不同频率声波，最佳吸声频率向低频方向移动。

15.4.2 共振吸声结构的吸声机理(The Mechanism of Sound Absorption in the Structure of Syn-vibrative Sound Absorption)

1. 共振吸声结构

前面已经提到,人们可通过在噪声源周围设置吸声材料或吸声结构吸收声能,达到吸声降噪的目的。多孔材料的低频吸声系数小,增加材料厚度可提高吸声系数,但超过一定频率时,随着材料厚度的增加,吸声系数几乎无显著变化。因此,在某些情况下,通过增加吸声材料厚度的办法吸声,既不经济,也达不到预期的吸声效果。这时可利用共振原理设计共振吸声结构。实践证明,采用共振结构吸声能获得较好的低频吸声效果。

共振在声学中也称为"共鸣",它是指振动体在周期性变化的外力作用下,当外力的频率与振动体固有频率很接近或相等时,振幅急剧增大的现象。目前根据共振原理设计的共振结构有薄板共振吸声结构、单个空腔共振吸声体、穿孔薄板等。

2. 薄板共振吸声结构及其吸声机理

薄板共振吸声结构是由薄板、固定并支撑薄板的骨架组成。安装时,将薄板周边固定在骨架上,并将骨架与墙壁或其他刚性板壁牢固地结合在一起。这时薄板、骨架、薄板与骨架之间的空气层就构成了一个振动系统,空气层相当于弹簧。当声波入射到薄板上,由于声压的作用,迫使薄板产生振动,并发生形变,振动的机械能转化为热能。如果入射声波的频率与振动系统的固有频率接近或相等,则振动最大,声能消耗最多,吸声的效果也最显著。

为了使薄板共振结构能获得最佳的吸声效果,在设计薄板共振结构时,应尽可能使其固有频率接近所要吸收声波的频率。振动系统的共振频率可由式(15.14)计算

$$f_0 = c(100 \times \rho / \delta \times M)^{1/2} / 2\pi \qquad (15.14)$$

式中:f_0 为共振频率,Hz;c 为空气中的声速,m/s;ρ 为空气的密度,kg/m^3;δ 为空气层厚度,cm;M 为薄板的面密度,kg/m^2。

取 c = 340 m/s,ρ = 1.29 kg/m^3,则式(15.14)可写为

$$f_0 \approx 600 / (\delta \times M)^{1/2} \qquad (15.15)$$

由上式可知,增加空气层厚度或选择面密度大的材料作为薄板,均可降低共振频率,此时有利于对低频声波的吸收。表 15.5 列出的是常用板共振吸声结构的吸声系数。

表 15.5　常用板共振吸声结构的吸声系数

材料和结构/mm	各频率下的吸声系数					
	125	250	500	1000	2000	4000
草纸板:板厚 20,空气层厚度 50,框架 450×450	0.15	0.49	0.41	0.38	0.51	0.64
草纸板:板厚 20,空气层厚度 100,框架 450×450	0.50	0.48	0.34	0.32	0.49	0.60
木丝板:板厚 30,空气层厚度 50,框架 450×450	0.05	0.30	0.81	0.63	0.70	0.91
木丝板:板厚 30,空气层厚度 100,框架 450×450	0.09	0.36	0.62	0.53	0.71	0.89
刨花压轧板:板厚 15,空气层厚度 50,框架 450×450	0.35	0.27	0.20	0.15	0.25	0.39
三夹板:空气层厚度 50,框架 450×450	0.21	0.73	0.21	0.19	0.08	0.12
三夹板:空气层厚度 100,框架 450×450	0.59	0.38	0.18	0.05	0.04	0.08
五夹板:空气层厚度 50,框架 450×450	0.08	0.52	0.17	0.06	0.10	0.12
五夹板:空气层厚度 100,框架 450×450	0.41	0.30	0.14	0.05	0.10	0.16
穿孔三夹板:孔径 5,孔距 40,空气层厚度 100	0.37	0.54	0.30	0.08	0.11	0.19
穿孔三夹板:同上,并在板内侧贴一层玻璃布	0.28	0.70	0.51	0.20	0.16	0.23
穿孔五夹板:孔径 5,孔距 25,空气层厚度 50	0.01	0.25	0.54	0.30	0.16	0.19
穿孔五夹板:同上,板内填矿渣棉(容重 8/m^3)	0.23	0.60	0.86	0.47	0.26	0.27
穿孔五夹板:孔径 5,孔距 25,空气层厚度 100	0.09	0.45	0.48	0.18	0.19	0.25
穿孔五夹板:同上,板内填矿渣棉(容重 8/m^3)	0.20	0.99	0.61	0.32	0.23	0.59

3. 单个空腔共振吸声体及其吸声机理

单个空腔共振吸声体由腔体和颈组成,又称亥姆霍兹共振器(见图 15.1)。空腔的体积为 V,颈的开口直径为 D,长度为 L。空腔中的空气相当于一个弹簧。当声波入射至颈的开口处时,由于颈的几何尺寸远小于声波波长和腔体几何尺寸,颈内空气可视为一个整体,像活塞一样在颈内作往复运动。运动过程中与颈的内壁发生摩擦作用,并使部分入射声波的声能转化为热能而消耗。当入射声波的频率与空腔共振吸声体的固有频率接近或相等时,则发生共振。此时声能消耗最多,吸声效果最好。

图 15.1　单个空腔共振吸声体

单个空腔共振吸声体的共振频率计算式

$$f_0 = c(S/V \times L_e)^{1/2}/2\pi \tag{15.16}$$

式中:f_0 为共振频率,Hz;c 为空气中的声速,m/s;S 为颈口面积,m^2;V 为空腔体

积，m^3；L_e 为颈的有效长度，m。

对于圆孔 $L_e = L + \pi D/4$，其中，D 指颈口直径，单位为 m。

第五节 隔 声 (Sound Insulation)

声波借助媒质进行传播，传播媒质可以是空气，也可以是固体。通过空气进行传播称为空气传声，通过固体进行传播称为固体传声。空气传声是发声体工作过程中因振动直接激发周围空气振动而发出声波，并以空气声波的形式向周围传播，例如机械部件的高速运转，猛烈撞击等。固体传声则是发声体结构构件本身的振动在结构固体中以弹性波形式进行的传播。这种弹性波在传播过程中，可因结构固体表面振动而激起空气声波。实际工作中，针对声波的不同传播途径和方式，需采取不同的措施加以控制。固体传声是因发声体结构构件的振动引起，所以可通过减振的方法进行控制，这方面内容将在本章第七节中进行介绍。隔声则是控制空气传声的有效手段之一。

隔声是用围护构件，例如墙体、楼板、间壁和外壳等阻断声波的传播途径，减少声波传递效果的措施。通过隔声可减少声波、振动和撞击等作用对构件所引发的振动以及减弱在构件中的声波传播和向外辐射。

15.5.1 隔声量和透射系数(Sound Insulation)

隔声量和透射系数是用来衡量隔声构件隔声效果时常用的两个指标。声波在传播过程中遇到屏障时，一部分声波被吸收，一部分被反射，还有一部分透过屏障。因此，透射系数可用声波通过隔声结构时的透射声强与入射声强之比来表示，即

$$\tau = I_t / I_i \tag{15.17}$$

式中：τ 为透射系数；I_t 为透射声强，W/m^2；I_i 为入射声强，W/m^2。

透射系数的大小直接反映了隔声结构隔声效果的好坏。该值越大，声能透过量越多，隔声结构的隔声效果越差。

当用隔声量来表示隔声结构的隔声效果时，其计算公式为

$$L_{TL} = 10 \cdot \lg(I_i / I_t) \tag{15.18}$$

式中，L_{TL} 为隔声量，dB。

由式(15.17)，(15.18)可知，隔声量和透射系数间有如下关系

$$L_{TL} = 10 \cdot \lg(1/\tau) \tag{15.19}$$

实际工程应用中，隔声量的大小是在隔声实验室实测得到的。实验结果表明，隔声量与隔声构件的结构、制造构件所用材料的性质及入射声波的频率有关。

15.5.2　隔声构件(Components of Sound Insulation)

在声波传播的途径中设置屏蔽物,使大部分入射声波反射回去,阻断声波的传播途径,我们把这种具有隔声功能的屏蔽物叫做隔声构件。常用的隔声构件包括隔声室、隔声罩和隔声屏等。

1. 隔声室

隔声室是用隔声效果较好的建筑材料建造的建筑物。其作用是当人们在高噪声环境中,需要有个相对安静的空间进行工作或休息时,建造一个隔声室,用于阻止外界噪声的传入;或者在某一工作区域内,有多个相对集中的噪声源(或单个强噪声源),为了缩小噪声源的影响范围,将它们封闭在隔声室中,以保护周围环境的安静。

设计隔声室时,需要考虑构件的结构、制造构件所用材料的性质及入射声波的频率、入射角等因素对构件隔声量的影响。目前常用的隔声结构有单层隔声结构、双层隔声结构和用多层轻质复合材料(可以是金属或非金属)建造的隔声结构。制造构件所用材料包括金属、非金属板材,土木建筑材料等。下表中列出了工程中用不同材料建造的,具有不同结构的隔声构件隔声量。

表 15.6　几种常用构件的隔声量

构件名称	面密度/(kg·m^{-2})	实测 1 倍频程(中心频率下)隔声量/ dB					
		125	250	500	1000	2000	4000
1/4 砖墙,双面粉刷	118	41	41	45	40	46	47
1/2 砖墙,双面粉刷	225	33	37	38	46	52	53
1/2 砖墙,双面木筋板条加粉刷	280	-	52	47	57	54	-
1 砖墙,双面粉刷	475	44	44	45	53	57	56
1 砖墙,双面粉刷	530	42	45	49	57	64	62
100 mm 厚木筋板条墙,双面粉刷	70	17	22	35	44	49	48
150 mm 厚加气混凝土砌块墙,双面粉刷	175	28	36	39	46	54	55
4 mm 厚双层密封玻璃窗,空气层 120 mm	20	20	17	22	35	41	38

入射声波的频率、入射角对隔声量的影响与构件材料的弹性性质有关。由于材料本身具有一定的弹性,所以当声波以一定的入射角射到构件的表面时,将使构件发生弯曲振动。如果声波的波长与构件弯曲振动波的波长相近或相等时,将发生共振。这时,构件的透射声波增大,隔声量降低。这一现象叫做“吻合效应”,其相应频率称为“吻合频率”。因此,当声波以一定角度入射时,发生吻合效应的条件为

$$\lambda_G = \lambda / \sin\theta \tag{15.20}$$

式中:λ_G 为构件弯曲振动波波长;λ 为入射声波波长;θ 为声波入射角。

$\lambda_G = \lambda$ 时的频率为产生吻合效应的最低频率,称为吻合效应的临界频率。低于这一频率的声波不会产生吻合效应。对单层匀质隔声构件,临界频率计算公式为

$$f_c = 0.551c^2(D/E)^{1/2}/\delta \tag{15.21}$$

式中:f_c 为临界频率 Hz;c 为声速,m/s;D 为构件材料的密度,kg/m^3;δ 为构件的厚度,m;E 为构件材料的弹性模量,N/m^2。

由式(15.21)可以看出,临界频率与材料的厚度及物理性质有关。设计时,应选择密度大,弹性模量小的材料,并尽可能降低材料的厚度。这样可提高临界频率,最好使其控制在人耳听觉不敏感的高频范围(4000 Hz 以上)内,以避免吻合效应的发生。

2. 隔声罩

工作场所内仅有一个体积较小的设备发出噪声,或有多个发声设备,但布置分散时,将它们用隔声罩分别封闭于相对较小的空间内,切断声波向外界传播的途径,可以说是一种经济、有效的噪声控制方法。隔声罩通常由罩板、板内衬吸声材料构成,但在实际应用中,为了满足操作、维护、检修或通风散热的需要,需在罩板开通风口、观察口、散热口、维修口等。为使隔声罩能有较好的隔声效果,设计时,应考虑以下几点:

①罩板应选择隔声性能优良的多层轻质复合材料制造。

②罩板内加衬吸声系数高的吸声材料。

③罩体外形尽可能与发声设备外形一样,并加工成曲面,以防止驻波效应。

④罩板上的开口处应与外接管道或部件严格密封。

⑤尽可能使隔声罩体与发声设备无直接接触,如必须接触时,应采用柔性连接。

隔声罩的隔声效果常用插入损失来衡量,其定义为在隔声罩设置前后,噪声源向外辐射噪声的声功率级之差。用公式可表示为

$$\Delta L_w = L_{w1} - L_{w2} = 10 \cdot \lg(W_1/W_2) \tag{15.22}$$

式中:ΔL_w 为插入损失,dB;L_{w1} 为加罩前噪声源向外辐射噪声的声功率级,dB;L_{w2} 为加罩后噪声源透过罩体向外辐射噪声的声功率级,dB;W_1 为加罩前噪声源向外辐射噪声的声功率,W;W_2 为加罩后噪声源透过罩体向外辐射噪声的声功率,W。

隔声罩罩板内衬有吸声材料,根据透射系数的定义,加罩后透过罩体的声功率与加罩前噪声源向外辐射噪声的声功率之比为

$$W_2/W_1 = (A' \times \alpha'/A \times \alpha) \times \tau \tag{15.23}$$

式中：A'为罩板面积；α'为罩板吸声系数；A为包括罩体内地面在内的总内表面积；α为总内表面积的平均吸声系数；τ为透声系数。

由式(15.22)和式(15.23)可得隔声罩插入损失计算式

$$\Delta L_w = 10 \cdot \lg(W_1/W_2) = 10 \cdot \lg(1/\tau) + 10 \cdot \lg(A \times \alpha/A' \times \alpha') \tag{15.24}$$

当罩板所用材料吸声能力很大，即$\alpha' \approx 1$，且$A' \approx A$时，式(15.24)可简化为如下形式

$$\Delta L_w = 10 \cdot \lg(\alpha/\tau) \tag{15.25}$$

从上式可以看出，当$\tau \approx \alpha$时，$\Delta L_w \to 0$，表明隔声罩此时不起隔声作用，吸收的声能已全部通过罩板透射出去。

3. 隔声屏

当声波在空气中传播时，如果遇到尺寸远大于声波波长的障碍物，则仅有少部分声波以透射波和衍射波的形式通过障碍物，而大部分声波将被反射，在障碍物的后面形成了一定范围的声影区，声影区内声压级大为降低。人们把这种降噪的方式叫做隔声屏降噪，阻挡声波通过的障碍物叫做隔声屏。

隔声屏通常用于广泛区域内的噪声控制，如交通噪声；当工业噪声源因操作、维护、检修等原因，无法采用隔声室或隔声罩封闭治理时，隔声屏不失为一种简单、经济且较为有效的方法。

隔声屏的隔声效果与隔声屏平面几何尺寸和形式、厚度、制造材料的声学性质、声波的波长等因素有关。

第六节　消 声 器
(Silencer)

内燃机、鼓风机、空压机、高压排气(汽)管等是工业生产中常用的气体输送设备和输气(汽)管道。当气流高速流过这些设备和管道，或在气体不稳定流动过程中出现涡流或压力的突然改变等状况，均会引起周围空气媒质的剧烈振动。我们把因这种振动而产生的噪声叫空气动力性噪声。

消声器是一种安装在管道中或设备的进、出口上，允许气流通过而又能有效降低气流噪声的装置。它是通过在进出口管内设置吸声材料或结构、或者改变管道的截面积等，使噪声能量损耗或发生反射，限制噪声的传播，从而达到消声降噪的目的。按其消声降噪的原理，可分为阻性消声器、抗性消声器和阻抗复合型消声器等。

15.6.1 阻性消声器(Resistant Silencer)

1. 阻性消声器的降噪原理

阻性消声器是利用贴衬在管道内壁的多孔吸声材料,消耗声波的能量,达到降低噪声目的的。当声波在衬有吸声材料的管道中流动时,激发多孔材料中微孔内空气分子和吸声材料中细小纤维的振动。这种振动增加了空气分子与孔隙内壁之间的摩擦力和空气分子之间的黏滞力,加快了空气与吸声材料之间的热能交换,使声波的大部分声能随气体在管道中的流动而不断消耗衰减,从而达到消声降噪的效果。由于多孔吸声材料对低频声波的吸声系数较小,因此,阻性消声器通常对中、高频噪声有较好的消声作用。

2. 阻性消声器的分类

阻性消声器的种类繁多,按气流通道的几何形状可分为直管式、折板式、声流式、片式、蜂窝式和迷宫式等。下面对前三种消声器进行简单描述。

(1)单通道直管式消声器

这是一种最简单的阻性消声器,其结构为在一段截面均匀的直管道内衬贴一层厚度均匀的多孔吸声材料。管道截面可为方形(正方形或长方形)或圆形。当管中传播的声波波长比管道截面尺寸大(对截面为方形的管道,波长 $\lambda > L/2$, L 为方形管道的最长边边长;对截面为圆形的管道,波长 $\lambda > 0.3R$, R 为圆形管道的半径)时,则管中声波为平面波。由于衬贴材料的吸声作用,声波的能量随着在管道中的传播而衰减。

影响直管式消声器消声效果的因素很多,如内衬吸声材料的厚度、空隙率、声学性质及管道形状、截面积、长度等。人们在对消声器消声量进行理论推导时,提出了许多理论假设条件,但消声器的实际工作状况并不完全符合这些假设条件,所以消声量的理论计算值与实际测量值往往差距较大。实际应用时,可采用经验计算式进行计算。例如,低频平面声波在衬有低吸声系数材料的直管中传播时,可由下面的经验公式计算消声器的消声量

$$\Delta L = 1.03(\alpha)^{1.4} \times P \times l/A \quad (dB) \tag{15.26}$$

式中:ΔL 为消声量;α 为吸声材料无规则入射平均吸声系数;P 为管道截面的有效周长表面积;A 为管道的有效截面积;l 为管道有效长度。

(2)折板式消声器

折板式消声器是在直管内插入呈曲折状的板型吸声片,使直流通道变成折流通道。这样做的目的是增加消声器周长与截面积之比,同时延长声波在消声器中的传播路程,增加声波与吸声材料的接触时间,从而提高消声器消声效率。此类消声器在气体流速过大的场合不适用。表 15.7 给出的是常用阻性折板式消声器结构尺寸和主要技术性能。

表 15.7　常用阻性折板式消声器规格及主要技术性能

气体流量 /($m^3 \cdot min^{-1}$)	消声器外形尺寸/ mm			主要技术性能				
	有效长度	直径	接管法兰口径	吸声片厚度/ mm	吸声片间距/ mm	通道截面积/ m^2	通道面积/ % *	通道流速 /($m \cdot s^{-1}$)
10	1200	400	150	80	60	0.0216	17.2	7.8
15			200					11.6
20	1400	450	200	80	80	0.0384	21.5	15.5
30								13.0
40								17.4
60	1600	600	300	100	100	0.068	24	14.7
80								19.6
120	1800	800	350	80	90	0.135	27	14.8
160			400					19.8
200		900	450	100	100	0.173	27.2	19.3
250					110			24.1

* 通道面积(%)指气体流动的通道面积与通道截面积之比的百分数。

(3)声流式消声器

折板式消声器对气体的流动阻力较大,为了减小这种阻力,并使消声器能在较宽的频带范围内具有良好的消声性能,可在折板式消声器的基础上,对消声片进行加工改造,即将消声片加工成流线型。这种经改造的消声器称为声流式消声器。它不仅具有折板式消声器的优点,而且还因消声通道截面呈延绵起伏状,因此,可收到吸收低频声波的功效。表 15.8 给出的是常用阻性声流式消声器规格和主要技术指标。

表 15.8　常用阻性声流式消声器规格及主要技术性能

气体流量 /($m^3 \cdot min^{-1}$)	消声器外形尺寸/ mm			主要技术性能			
	有效长度	直径	接管法兰口径	吸声片厚度/ mm	吸声片间距/ mm	通道截面积/ m^2	通道流速 /($m \cdot s^{-1}$)
10～20	1100	380×390	150	80	60	0.02	8.7～16.5
30～40	1350	430×440	200	80	80	0.037	13.5～18.2
60～80	1500	590×480	300	100	100	0.064	15.6～20.8
120～160	1750	780～710	350	80	90	0.132	15.7～20.9
			400				
200～250	2000	800×700	450	100	100	0.171	20.2～25
500～630		Φ1500	800	400	—	0.56～0.70	15～12
							18.7～15

15.6.2 抗性消声器(Inhibitive Silencer)

当声波在管道中传播时,如果管道截面发生变化(扩张或收缩),将在截面变化处的分界面上产生声波的反射和透射现象。如图 15.2 所示,有两段截面积分别为 A_1 和 A_2 的管道相连。在 A_1 管道中,入射声波的声压设为 p_i,反射声波的声压设为 p_r,A_2 管道中透射声波的声压为 p_t(假设此管道很长,无反射波),则在传声媒质(空气)稳定流动的条件下,分界面两边的声压和传声媒质的流量相等,即

图 15.2 声波在截面突变管道中的反射和透射

$$p_i + p_r = p_t \tag{15.27}$$

$$A_1 \times (u_1 + u_1^*) = A_2 \times u_2 \tag{15.28}$$

这里,u 为传声媒质质点的运动速度。由声阻抗定义 $\zeta_p = p/u$ 可知,$u = p/(c\times\rho)$。其中 c 为声速,ρ 为媒质的密度。则式(15.28)可写成

$$A_1 \times (p_i + p_r)/(c_1 \times \rho_1) = A_2 \times p_t/(c_2 \times \rho_2) \tag{15.29}$$

这里 $c_1 = c_2$,$\rho_1 = \rho_2$。根据声压反射系数定义,由式(15.27)和式(15.29)可得声压反射系数 γ_p 表达式

$$\gamma_p = p_r/p_i = (A_1 - A_2)/(A_1 + A_2) \tag{15.30}$$

同样,根据声强的定义 $I = W/A = p^2/(c\times\rho)$,W 为声功率,可得声强的反射系数 γ_i 表达式

$$\gamma_i = I_r/I_i = \{(A_1 - A_2)/(A_1 + A_2)\}^2 \tag{15.31}$$

由反射系数和透射系数的关系 $\tau + \gamma = 1$,τ 为透射系数,声压的透射系数 τ_p 和声强的 τ_i 透射系数可分别表示为

$$\tau_p = 1 - \gamma_p = 2A_2/(A_1 + A_2) \tag{15.32}$$

$$\tau_i = 1 - \gamma_i = 4A_1A_2/(A_1 + A_2)^2 \tag{15.33}$$

因为声功率 $W = I\times A$,则可推导出声功率透射系数 τ_w 的计算公式为

$$\tau_w = 4A_2^2/(A_1 + A_2)^2 \tag{15.34}$$

在式(15.32)~式(15.34)中,令 $m = A_1/A_2$,m 称为抗性消声器的扩张比。如果两根管子的扩张比相同,τ_p 和 τ_i 便相同,但 τ_w 不同。

抗性消声器是利用管道截面的变化使声波反射而达到消声的目的。管道中不使用吸声材料,而是利用不同形状的管道使声

图 15.3 单扩张室消声器

波产生反射,从而降低声波向外辐射的声能。常用的抗性消声器是扩张室消声器,它由连接管和扩张室两部分组成,见图 15.3。声波通过具有一定长度的扩张室时,消声量计算式为

$$\Delta L = 10 \cdot \lg\{1 + (m + 1/m)^2 \cdot \sin^2(k \times l)/4\} \tag{15.35}$$

式中:ΔL 为消声量,dB; m 为抗性消声器的扩张比; k 为圆波数, $k = 2\pi/\lambda$, m^{-1}; l 为扩张管长度,m。

15.6.3　其他类型消声器(Other Silencers)

若要阻性或抗性消声器有效消声,需使其在一定的频带范围内工作。两者之一单独使用时,对宽频带气流噪声的适用性受到限制。例如,阻性消声器对中、高频噪声消声效果好,而抗性消声器则适用于消除中、低频噪声。为使消声器能在较宽频带范围内有良好的消声效果,将两者结合起来,就构成了阻抗复合式消声器。使用中,这种消声器能表现出阻、抗消声器各自的消声降噪的特点。表 15.9 列出的是几种阻抗复合式消声器规格及主要技术性能。

表 15.9　常用阻性声流式消声器规格及主要技术性能

适用风量/($m^3 \cdot h^{-1}$)				外形尺寸				主要性能	
流速/($m \cdot s^{-1}$)				长度/mm	断面尺寸/mm	断面面积/m^2	法兰尺寸/mm	有效截面积/m^2	扩张比
6	8	10	12						
2000	2660	3330	4000	1600	800×500	0.40	520×230	0.093	4.26
3000	4000	5000	6000		800×600	0.48	510×370	0.139	3.91
4000	5330	6670	8000		1000×600	0.60	700×370	0.186	3.17
5000	6660	8320	10000		1000×800	0.80	770×400	0.231	3.46
6000	8000	10000	12000	1900	1200×800	0.96	700×550	0.278	3.43
8000	10660	13340	16000		1200×1000	1.20	780×630	0.372	3.20
10000	13320	16640	20000		1500×1000	1.50	1000×630	0.463	3.29
15000	20000	25000	30000		1500×1400	2.10	1000×930	0.695	3.07
20000	26700	33400	40000		1800×1400	2.52	1330×970	0.928	2.73
30000	40000	50000	60000		2000×1800	3.60	1500×1310	1.390	2.59
适用风量/($m^3 \cdot min^{-1}$)		通过流速/($m \cdot s^{-1}$)							
500		18.5～13		2000	Φ1500	1.77	Φ800/Φ950	0.45～0.64	3.90
630		23.1～16.4							

第七节 隔振与阻尼
(Vibration-resistance and Damping)

这里所说的振动是指机械振动。它是由机械设备(或机械设备中的某些部件)在其平衡位置附近不停地进行往复运动而产生的。例如离心机、空气压缩机、高压泵、锻锤、高速流体的输送管道等。

振动对人体健康和周围环境的危害是多方面的。归纳起来包括:

①振动是加重噪声危害的原因之一。机械设备运转时会有振动波产生,并在设备中以弹性波的形式传播,并在传播过程中引起周围媒质质点的振动,向外辐射噪声。振动辐射的噪声与机械设备振动强度的大小有关,特别是出现共振时,向外辐射的噪声最强,危害性也最大。从这个意义上说,振动的危害表现为噪声的危害。

②振动引起周围建、构筑物的损坏。大多数建、构筑物是用砖、混凝土等建筑材料建造的,它们的机械性能表现为抗压强度很大,而抗拉强度较小。当它们受到外界振动的影响而发生受迫振动(特别是无规则振动或随机振动)时,由于各种建筑材料固有振动频率不同,出现墙皮脱落、墙体开裂等现象,严重时,会使建、构筑物倾斜或倒塌。

③振动会对人体器官产生影响,进而影响到人们的心理和生理健康。人体及体内器官有其自己的固有频率,例如人体固有频率在 6Hz 左右,内脏在 8Hz 左右,头部在 25Hz 左右。当外界振动波的振动频率与人体或人体内某一器官的固有频率相同或相近时,则产生共振效应。此时振动对人体健康的危害最大。当然,振动对人体健康的影响除与振动频率有关外,还与振动强度、接触时间、人体本身健康状况等因素有关。人的全身或局部长期受振动的影响,可引发疲劳、头痛、头晕、多汗等症状。局部直接接触时,会引起手指发冷、肿胀和皮肤感觉变化等。

目前常用的防振措施是隔振和阻尼。

15.7.1 隔振(Vibration-resistance)

固有振动、阻尼振动和受迫振动是物体三种基本振动形式。物体在不受外力的作用而阻尼又可忽略的情况下发生的振动叫固有震动;受其他外力作用而被迫进行的振动叫受迫振动。机械设备的隔振就是通过在振动体和与其相接触的其他物体之间安装具有弹性的隔振器,通过隔振器不断进行的弹性形变,消耗振动体传递的振动能量,削弱振动波向其他物体的传播。

常用的隔振器有弹簧和本身具有弹性的弹性材料,如橡胶、软木和毛毡等。隔振器隔振效果的好坏与弹性材料的允许负荷和动态弹性模量等因素有关。表 15.10 是几种隔振材料的允许荷载和弹性模量。

表 15.10　常用隔振材料的允许荷载和弹性模量

材 料 名 称	允许荷载/ (kg·cm^{-2})	动态弹性模量/ (kg·cm^{-2})
软橡胶	0.08	5
中等硬度橡胶	0.3～0.4	20～25
海绵状橡胶	0.03	3
软木	0.15～0.2	3～4
软木屑板	0.06～0.1	6
软毛毡	0.02～0.03	2
硬毛毡	0.14	9

15.7.2　阻尼(Damping)

前面已经提到,还有一种振动形式是阻尼振动。它是指振动系统在受到阻力作用的情况下,振动能量损失,如果没有新的能量补充,振动波逐渐衰减,最终消失的振动。振动能实际上是一种机械能。在阻尼振动系统,振动能量的损失通常是由于振动机械设备受到了摩擦作用或黏滞效应,使振动能量转换成热能而消耗。描述阻尼程度的物理量叫阻尼因数,用公式可表示为

$$A = A_0 \times e^{-\beta \times t} \tag{15.36}$$

式中: A 为 t 时刻阻尼振动的振幅; A_0 为初始时刻的振幅;e 为常数,为自然对数的底;β为阻尼因数; t 为阻尼振动延续的时间。

式(15.36)表明,阻尼振动的振幅随时间呈指数规律衰减,阻尼因数越小,振幅衰减越慢。反之,阻尼因数越大,振幅衰减越快。实际应用中,可在振动机械设备或部件的表面涂抹阻尼材料,形成阻尼层。发生振动时,振动能量传递给内摩擦损耗大的阻尼层,并转化为内摩擦热能而消耗掉。阻尼材料阻尼的大小是用损耗因数 η来衡量的。其值由实验测定。实验表明,η与材料的临界阻尼因数、振动系统作用力频率和固有频率等因素有关。

阻尼材料(浆料)可自己配制。其主要成分包括基料、填料和溶剂三部分。其中基料是主要成分,它在浆料中起黏合作用。常用的基料有沥青、氯丁橡胶液、环氧树脂、酚醛树脂等。填料的作用是增加阻尼材料的内摩擦损耗,常用的有膨胀珍珠岩、石棉粉、生石膏、碳酸钙、软木粉等。溶剂的作用是溶解基料,常见的溶剂有汽油、松香水、乙酸乙酯、乙酸丁酯等。配制好的阻尼材料应满足以下条件:损耗因高数;黏结性好,附着力强;耐温、耐湿、耐油、不老化。下表给出的是两种国产阻尼浆配方。

表 15.11 国产阻尼浆配方

配 方 一		配 方 二	
J-70-1 防振隔热阻尼浆成分		746 阻尼浆成分	
材料成分及规格	质量百分比/ %	材料成分及规格	质量百分比/ %
30 % 氯丁橡胶液	60	15 % 氯丁橡胶液	42
420 环氧树脂	2	40 % 酚醛树脂(4#)	15
胡麻油醇酸树脂	4	石棉绒(建筑材料)	2.5
膨胀珍珠岩	8	磷酸三苯酯	2.5
0.3～1 mm 细膨胀蛭石	10	三硫化钼	15
1～5 mm 膨胀蛭石	8	碳酸钙(建筑材料)	8
石棉粉	6	混合溶剂:乙酸乙酯与 120 号汽油按 7:3 的比例混合(质量比)	适量
2 % 萘酸钴液	0.6		
15 % 萘酸铅液	0.8		
萘酸锰液	0.6		

参考文献

陈湘筑. 1999. 环境工程. 北京:教育科学出版社

国家医药管理局上海医药设计院. 1996. 化工工艺设计手册(第二版), 北京:化学工业出版社

胡名操. 1990. 环境保护实用数据手册. 北京:机械工业出版社

蒋展鹏. 1992. 环境工程学. 北京:高等教育出版社

李家华. 1995. 环境噪声控制. 北京:冶金工业出版社

刘天齐. 2000. 环境保护. 北京:化学工业出版社

郑长聚. 1987. 环境噪声控制工程. 北京:高等教育出版社

维西林德. 皮尔斯著. 刘东山 黄政贤译. 1992. 环境工程学, 北京:晓园出版社(世界图书出版公司)

Kinsler L E. et al. 1982. Fundamentals of Acoustics (3rd ed.) New York: John Wiley & Sons

Lord H W. et al. 1980. Noise Control for Engineers. New York: McGraw Hill

第十六章　放射性废物管理

放射性废物又称核废物,是指任何含有放射性核素或被放射性核素污染、其放射性浓度或水平超过主管部门核定的豁免值、且在可预见的将来无可利用的物质。放射性废物以其具有较高放射性、放射毒性和化学毒性区别于其他非放射性有害废物,部分放射性废物还具有发热、易燃、易爆、释放有害气体等性质。放射性废物的这些特征决定了其管理方式的特殊性,不能用常规处理三废的工艺来处理。

自放射性产生后对其进行的处理、处置、安全评价和有关目标、政策的制订等活动,称作放射性废物管理(radwaste management)。放射性废物管理包括放射性废物处理与处置两个方面。放射性废物处理(radwaste treatment)包括废物的控制产生、分类收集、净化、浓缩、压缩、焚烧(减容)、固化、包装和暂存等环节,旨在尽量减小废物数量和体积、并将其加工成适于最终处置的适当形式;放射性废物处置(radwaste disposal)则是将放射性废物以固化体的形式,在保证安全地与生物圈隔离条件下,长期或永久处置,并不得回取。

本章首先介绍放射性废物的基本知识,包括:放射性废物产生现状;放射性废物的来源;放射性废物的分类;放射性废物的特性。

然后介绍放射性废物处理的各项工艺:净化;浓缩;固化;压缩;焚烧;切割。

第一节　放射性废物概要
(Introduction)

自 1896 年发现放射性现象以来,便开始有人工放射性废物产生。至 20 世纪 70 年代,全球放射性废物数量随核武器生产和核电迅速发展而急剧增长。安全处置核废物已成为保护人类环境的重要研究课题和措施之一。

16.1.1　国内外放射性废物产生现状(Present Status)

核电厂的运行是当今世界核废物最重要来源之一。自前苏联于 1954 年建成世界上第一座核电厂以来,全世界核发电量占总发电量 16.7%。据国际原子能机构统计,至 1998 年 3 月,全世界 32 个国家和地区共有 437 座核电厂(机组数)在运行,总装机容量 351.8GW;此外,正在建造的核电厂有 36 座,总装机容量为 26.8GW。有 3 个国家的核发电量超过本国总发电量的一半(1998 年统计资料):立陶宛(81.5%)、法国(78.2%)和比利时(60.1%)。乌克兰(46.8%)和瑞典

(46.2%)的核发电量接近本国总发电量的一半。

一个年发电量为6GW的核发电体系在运行40年间产生的核废物总量约为19.4×10^4 m^3(不包括铀尾矿、燃料元件加工废物等)。按此比例推算,1998年全世界437个核电机组运行产生的各类核废物约为114×10^5 m^3;若将核燃料循环中的铀尾矿等计入,则约为37.2×10^7 m^3。国际原子能机构(1988)估算,1990年全世界核电放射性废物数量(不包括铀尾矿)为4×10^5 m^3,其中低放废物370000 m^3,中放废物26000 m^3,高放废物3800 m^3,乏燃料17000 m^3。据统计,在1980～2000年间,全世界核电放射性废物累计量(不包括铀尾矿)超过40×10^8 m^3。

英国在1981～1990年间的核废物年产生量超过17×10^4 m^3,其中商用核反应堆废物约为4×10^3 m^3,核燃料元件制造、乏燃料后处理废物约为11×10^4 m^3,医疗、工业、科研产生的核废物约为2×10^4 m^3。

加拿大在1985～2025年间产生的核废物数量累计将达368×10^3 m^3,1985年低放废物的年产生量为13000 m^3。

法国、德国境内的核废物年产生量分别为10×10^5 m^3、2.2×10^5 m^3。

印度的中放、高放废物年产生量分别为17600 m^3和11700 m^3。

中国核工业已有40余年发展历史,在这期间已积累了数万立方米低、中高放物,这些废物主要来自核反应堆、核武器制造厂、铀水冶炼厂和使用放射性物质的医疗、教育、科研、工业、农业等部门。

随着秦山核电厂于1991年12月15日并网发电,大亚湾核电厂于1993年8月31日首次并网发电,连云港核电厂于1998年初开工兴建,以及今后一批核电厂的相继建成发电,我国核废物数量将明显增加(表16.1),在未来运行40年间将产生约2.3×10^5 m^3核废物和156×10^5 m^3铀尾矿。若考虑到2000年后还会建成若干座核电厂,预计在2000年至2010年间每年将产生核燃料循环废物约5×10^5 m^3(包括退役废物和铀尾矿);若再计入军事、医疗、科研、教育等非核燃料循环部门产生的核废物,我国每年将产生7×10^5 m^3核废物。

我国台湾省于1961年建成了岛内第一座教学堆,至1990年,已建成3座核电

表16.1 我国在2000年前的核电发展计划及产生核废物数量

核电厂	装机容量/MW	开始建设时间	投产时间	各类核废物产生量	40年间产生核废物总量/m^3
浙江秦山一期工程	2×300	1985	1991	500	20 000
广东大亚湾	2×900	1987	1993	1500	60 000
江苏连云港	2×1000	1998	1998	1666	666 400
浙江秦山二期工程	2×600	1992	1992	1000	40 000
浙江秦山三期工程	2×600	1995	1995	1000	40 000
合计	6800			5666	266 640

厂(6 台机组),核发电量占全岛总发电量的 50 %,居世界领先地位。台湾每年产生固化废物约 15 800 桶。

16.1.2　放射性废物的来源(Resource of Radwaste)

放射性废物主要来自核燃料循环中产生的放射性废物以及非核燃料循环中产生的放射性废物(表 16.2),主要包括:铀矿开采和铀矿石水冶;铀富集和核燃料元件制造;核反应堆运行;乏燃料后处理;制造和试验核武器;医疗、教育、工业、农业等部门应用放射性物质;放射性同位素生产和应用;核设施退役。

表 16.2　放射性废物的主要来源和种类

放射性物质类别	来源	废物状态	主要放射性核素	辐射类型	废物种类
放射性物质	铀矿开采和水冶	固态	^{226}Ra, ^{238}U	α,γ	废矿石、尾矿、污染废旧器材、树脂,滤布、塑料、玻璃、废旧劳保用品等
		液态	^{234}Pa, ^{230}Th, ^{226}Ra, ^{238}U 等	α, γ	矿坑水、选矿水、萃取水、地面排水、洗衣房排水、洗澡水、实验室废水等
		气态	^{222}Rn 等	α	废气和α气溶胶等
	铀精制和核燃料元件制造	固态	^{238}U, ^{234}U, ^{235}U 等	α, γ	纯化残留物、切削物、废硅胶等
		液态	^{238}U, ^{234}U, ^{235}U, ^{234}Th, ^{234}Pa 等	α, γ	提纯废液、废水等
		气态	^{238}U, ^{234}U, ^{235}U 等	α, γ	废气、粉尘和放射性气溶胶等
裂变产物和超铀产物	反应堆运行和乏燃料后处理	固态和液态	^{90}Sr, ^{133}Xe, ^{135}Xe, ^{129}I, ^{87}Kr, ^{85}Kr, ^{137}Cs, ^{99}Tc, ^{103}Ru, ^{106}Ru ^{144}Ce, ^{239}Np, ^{3}H, ^{239}Pu	β, γ, α	废离子交换树脂、泥浆、滤渣、仪器探头、污染废仪表设备、废纸、废塑料、废过滤器、废工具和劳保用品、冷却水、脱壳废液,萃取循环水、洗涤水地面排水等
		气态	^{133}Xe, ^{131}I, ^{3}H, ^{84}Br, ^{85}Kr, ^{129}I 等	β, γ	废气和放射性气溶胶等
活化产物	反应堆运行和核设施退役	固态	^{28}Al, ^{56}Mg, ^{55}Fe, ^{59}Fe, ^{60}Co, ^{3}H, ^{14}Cl 等	β, γ, α	废反应堆压力容器、废堆芯部件、包壳材料、污染石墨、废设备、钢筋混凝土等
		液态	^{58}Co 等	β, γ	循环冷却水、去污处理废水等
		气态	^{16}N 等	β, γ	废气和气溶胶等
	同位素制造	固态	^{90}Mo, ^{131}I, ^{133}Xe, ^{60}Co, ^{32}P, ^{125}I, ^{90}Sr, ^{137}Cs 等	β, γ	

续表

放射性物质类别	来源	废物状态	主要放射性核素	辐射类型	废物种类
天然放射性物质和人工放射性物质	放射性物质使用	固态	^{60}Co, ^{192}Ir, ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{204}Tl 等	β, γ	科研、教育、医疗、工业、农业等部门使用的废放射源、放射性同位素、污染动植物、废器材、废矿石标本、废水等
		液态	^{147}Pm, ^{137}Cs, ^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{238}U 等	β, γ	

1. 铀矿开采和铀矿石水冶

一个热功率为 1GW 的核电厂(轻水堆),每年约需要 150t 天然金属铀,若铀矿平均开采品位按 0.2% 计,则每年将产生约 10000m^3开采废石和 30000～50000m^3水冶尾矿(表 16.3)。

表 16.3 一个热功率为 1GW 的轻水堆核燃料循环每年产生的放射性废物量

废物来源及类型	废物量/ m^3(经处理)
1. 铀矿开采和水冶尾矿	60000(若钚循环,则为 40000)
2. 核燃料元件制造	
UO_2燃料	-
UO_2-PuO_2燃料	10～50
3. 轻水堆运行	
各类固体废物和固化废物	100～500
4. 乏燃料后处理	
固化高放废物	3
包壳废物	3
低、中放固体废物	10～100
固体和固化 α 废物	1～10

铀矿石经破碎、水冶后残留的尾矿,含有占原矿 6% 左右的铀,还含一定量的^{226}Ra、^{222}Rn 等,使尾矿成为有害低放废物和化学有害物质。铀废矿石、尾矿的数量多、体积大,其放射性较普通岩石、土壤高数倍至数十倍。此外磷矿石中一般含有较多的铀元素,经处理后残渣中的铀含量更高,使之成为一种数量庞大的低放废物,仅美国佛罗里达州每年便产生 1100 万吨磷尾矿,至 1983 年,该州已累计产生十亿吨磷尾矿,其释放氡的放射性活度达 1.5×10^{14}Bq。

2. 铀富集和核燃料元件制造

在核燃料循环前端的铀富集、转化阶段,^{235}U 含量由 0.711% 增至 3%～4%,同时产生低放废物,例如氟化渣、木炭渣、石灰渣、废旧轴承、废零部件、废管道、废

机油、废旧钢铁、劳保用品和放射性废水等。该类废物中含有^{235}U，^{238}U等核素及硝酸、氟化物等有害化学物质。此外，在制造核燃料元件时还产生少量低放废物。

3. 核反应堆运行

核反应堆是以铀或钚等作燃料的可控链式裂变反应装置，它由堆芯、堆内构件、压力壳、控制棒、驱动机构等组成。堆芯由燃料组件、控制棒组件和启动中子源等组成。将富集铀碾成粉末，制成许多小圆柱状UO_2，将它们装入一个锆合金燃料棒内。通常将220个燃料棒和若干控制棒结合在一起构成一个燃料组件，再将若干个燃料组件装进反应堆活性区。燃料棒中的铀、钚发生核裂变时释放出来的巨大热量，由普通水或氦气循环冷却剂带至汽轮机，推动汽轮机发电。

核反应堆运行时产生的放射性废液主要来自循环冷却水，放射性固体废物主要来自冷却净化系统、废水净化系统的离子交换树脂、废过滤器芯子、废液蒸发残渣、活化的堆内构件(包壳材料，控制棒等)、废仪表探头和零件等，其中堆内构件等为高放废物(含^{60}Co，^{63}Ni等)。据国际原子能机构统计，轻水堆核电厂的放射性固体废物产生量为550m^3/ GW·a。

4. 乏燃料后处理

核反应堆中不能继续使用的核燃料称为乏燃料。乏燃料中含有新生成的^{239}Pu(重要的军用材料)和未裂变的^{235}U，去除乏燃料中的裂变产物，并回收易裂变材料和可转换材料的过程，称为乏燃料后处理。一个热功率为1GW的核电厂，每年废弃的乏燃料元件约为35t，由乏燃料后处理产生的高放废液约为15m^3。

在乏燃料后处理第一次溶解循环萃取过程中，乏燃料中99.9%以上的裂变物进入硝酸萃取液中，成为高放废液。此外，后处理工厂还产生大量低、中放废物。体积为4m^3的乏燃料经后处理后，可产生600m^3低放废物、40m^3中放废物、2.5m^3高放废物。

5. 医疗、教育、工业、农业等部门应用放射性物质

医疗、教育、工业、农业等部门在应用放射源、加速器、示踪同位素、小型研究堆等过程中，将产生一定数量的低放固体、液体废物，这些废物中含有^{51}Cr、^{192}Ir、^{35}S、^{125}I、^{32}P、^{14}C、^{90}Sr、^{3}H、^{57}Co、^{99}Tc、^{60}Co等放射性核素。在现代家居装修时，由于大量使用各种石材尤其是花岗岩及彩釉瓷砖，使室内放射性气态氡(Rn)的浓度极高，造成室内氡的污染。

6. 放射性同位素生产和应用

在工业上生产和应用放射性同位素时，将产生一定数量的低放废物，这类废物

即为工业放射性废物,其中含有大量短寿命放射性核素,例如^{90}Mo、^{131}I、^{133}Xe、^{125}I等,其比活度一般小于 3.7×10^{3} Bq/g;此外,还含有裂变产物^{90}Sr、^{137}Cs、^{3}H等。

7. 核设施退役

核电厂、乏燃料后处理厂等核设施退役时,产生大量低放废物和少量高放废物(退役废物)。核设施退役的原因主要有:

①超过使用寿命。核电厂运行寿命一般为 30～40a,后处理厂为 15～20a。

②因突发性事故使核设施无法继续正常运行。如前苏联切尔诺贝利核电厂、美国三里岛核电厂等。

③已完成预定任务而关闭。

④因设计出现问题、设备发生故障,或政府的政策、计划改变等导致核设施关闭。例如,前南斯拉夫所有核电厂运行至公元 2000 年即全部关闭,此后再不建造核电厂等。

一个核设施退役时产生的各类核废物数量,大致等于该核设施运行期间产生的核废物总和。一座热功率为 1GW 的轻水堆核电厂退役后,将产生数百立方米高放废物,数千立方米低、中放废物,数万立方米非放射性废物。退役废物的特点是:

①绝大部分为低放固体废物。

②数量多,体积大,组成复杂,例如,被污染的大型钢构件、混凝土、土壤、管道、反应堆压力容器等。

③污染较牢固,不易去污,其中某些物质原来本无放射性,后经辐射活化转变为放射性废物。

16.1.3 放射性废物的分类(Classification of Radwaste)

迄今为止,国际上仍无统一的放射性废物分类原则,各国普遍按放射性废物的物理状态、放射性水平、来源、所含放射性核素的半衰期等不同,将放射性废物分成若干类。

1. 按物理性状分类(By Physical Properties)

按物理性状,放射性废物可分为:放射性固体废物、放射性液体废物和放射性气载废物。

2. 按放射性水平分类(By Radioactive Level)

放射性物质的放射性水平,可用比活度(固体废物)和放射性浓度(气载废物,

液体废物)表示,其物理意义为单位质量(固体)或单位体积(液体,气体)物质的放射性活度,度量单位为 Bq/ kg、Bq/ m^3或 Bq/ L。通常可分为高放废物(HLW)、中放废物(ILW)和低放废物(LLW)。

世界各国划分这三大类废物的放射性水平标准尚不统一。

(1)高放废物

1981 年,美国核管理委员会(NRC)明确规定高放废物包括下列各类核废物[3]:

①不予处理的乏燃料。

②乏燃料后处理第一循环萃取废液,或随后萃取循环的浓缩废物。

③高放废液的固体化。此外,高放废物还包括核燃料包壳元件、控制棒等。

(2)中放废物

指放射性水平介于低放废物和高放废物之间的放射性废物。中放废物主要来自核反应堆、乏燃料后处理第二次和第三次循环溶解萃取液、净化溶剂废液、洗涤废气的废液、去污泥浆和低放废液的浓缩液等。

(3)低放废物

包括绝大部分退役废物,核反应堆中的去污水、循环冷却水,医疗和科研用被污染动物的尸体、器官,选矿水,核设施地面排水、洗涤水,放射性废气和气溶胶,污染的塑料、玻璃、劳保用品等。美国将低放废物定义为未列入高放废物、含有放射性比活度小 3.7×10^2 Bq/ g 的超铀锕系元素的放射性废物(其中不包括铀废矿石和铀尾矿),特别强调必须是适合于陆地浅埋处置的放射性废物。据统计,美国低放废物主要来自核反应堆(约占 50%)、同位素和核燃料制造企业(约占 22%)、医疗和科研部门(约占 19%)和军事工厂(约占 9%)。

3. 按放射性核素的半衰期分类(By Half-decay Life)

按放射性核素的半衰期不同,放射性废物可分为长寿命(或长半衰期)放射性核素、中等寿命(或中等半衰期)放射性核素和短寿命(或短半衰期)放射性核素。

4. 按来源分类(By Sources)

根据放射性废物的来源不同,可将放射性废物分为铀尾矿、退役废物、不予处理的乏燃料、包壳废物、军用废物和商业废物等。

(1)铀尾矿

铀矿石经破碎、水冶后的残渣,即铀尾矿。铀尾矿若按放射性水平分类,分为低放固体废物,但因其体积大、数量多,在国外一般将其视为特殊类型的放射性固体废物,而不列入低放固体之中。

(2)不予后处理乏燃料

乏燃料主要由稳定的铀氧化物(占 96 %)、裂变产物(占 3 %)和 PuO_2(占 1 %)组成。其主要特征是:

①有一定的几何形态(圆柱状)。

②比一般高放废物含有更多的裂变产物和超铀核素。

③发热量较大,发热时间较长。

④不易浸取和溶解。

⑤放射毒性较大,需长期与人类环境隔离。

(3)包壳废物

卸堆乏燃料后处理过程中残留下来的铀芯包壳、阻隔材料等,被称为包壳废物,它主要由锆合金、不锈钢、铬镍合金等组成。包壳废物为高放废物。

(4)商业放射性废物和军事放射性废物

美国按核设施的用途,将其产生的废物分为商业放射性废物和军事放射性废物两大类。前者指由商用核电厂、核燃料循环设施和同位素制造、应用等商业部门产生的放射性废物;后者指由国家原子能会(AEC)、能源部(DOE)直辖的用于军事目的的核设施产生的放射性废物。军事高放废物和商业高放废物中裂变产物的种类、核素成分、浓度以及发热量均有较大差别。

(5)超铀废物和 α 废物

α 废物是指含有一种或多种发出 α 射线的核素(通常为锕系核素),并且其含量超过规定限值的放射性废物。在美国,超铀废物一般指含原子序数大于 92 且半衰期大于 20a 的放射性元素,其比活度大于 1000Bq/g 的核废物,主要来自军事核设施。一些国家将超铀废物列为高放废物。

5. 我国的放射性废物分类

1988 年我国颁布了核废物分类标准(表 16.4),根据该标准,首先将核废物按物理状态分为气载废物、液体废物和固体废物三类;在此基础上,再按放射性浓度或比活度将各类核废物分为若干级;对于固体废物,按比活度和所含主要核素的半衰期两项指标,划分出低放短半衰期($T_{1/2} \leq 60d$)废物、低放中等半衰期($60d < T_{1/2} \leq 5a$)废物、低放长半衰期($T_{1/2} > 5a$)废物、中放短半衰期废物、中放中等半衰期废物、中放长半衰期废物、高放短半衰期废物、高放中等半衰期废物、高放长半衰期废物和超铀废物等 3 级 13 个亚类。此分类较国际原子能机构(1971)分类更详细、更具体、更适合于我国实际使用。

表 16.4　我国的放射性废物分类标准

(中华人民共和国国家标准 GB9133-88)

类别	级别	名称	放射性浓度 A_V/(Bq/m^3)				
气载废物	Ⅰ	低放	$DAC_{公众} < A_V \leq 10^4 DAC_{公众}$				
	Ⅱ	中放	$10^4 DAC_{公众} < A_V \leq 10^8 DAC_{公众}$				
	Ⅲ	高放	$10^8 DAC_{公众} < A_V$				
			放射性浓度 A_V,Bq/L				
液体废物	Ⅰ	弱放	$DAC_{公众} < A_V \leq 3.7\times10^2$				
	Ⅱ	低放	$3.7\times10^2 < A_V \leq 3.7\times10^5$				
	Ⅲ	中放	$3.7\times10^5 < A_V \leq 3.7\times10^9$				
	Ⅳ	高放	$3.7\times10^9 < A_V$				
			放射性比活度 A_m,Bq/kg				
固体废物	Ⅰ	低放	T≤60d	60d < T≤5a*	5a < T≤30a	30a < T	超铀废物
			$7.4\times10^4 < A_m \leq 3.7\times10^7$	$7.4\times10^4 < A_m \leq 3.7\times10^6$	$7.4\times10^4 < A_m \leq 3.7\times10^6$	$7.4\times10^4 < A_m \leq 3.7\times10^6$	$A_m \geq 3.7\times10^6$ Bq/kg
	Ⅱ	中放	$3.7\times10^7 < A_m \leq 3.7\times10^{11}$	$3.7\times10^6 < A_m \leq 3.7\times10^{11}$	$3.7\times10^6 < A_m \leq 3.7\times10^{10}$	$3.7\times10^6 < A_m \leq .7\times10^9$	
	Ⅲ	高放	$3.7\times10^{11} < A_m$	$3.7\times10^{11} < A_m$	$3.7\times10^{10} < A_m$	$3.7\times10^9 < A_m$	

* 包括放射性核素钴-60(T=5.271a)。

包括放射性核素铯-137(T=30.17a)。

对仅含天然α辐射体的固体废物,下限值为 3.7×10^5 Bq/kg。

16.1.4　放射性废物的特性 (Properties of Radwaste)

放射性废物最重要特性是其具有放射性、放射毒性和化学毒性,部分放射性废物还具有发热性、易燃性、易爆性、易放出有害气体等性质。

1. 放射性

核废物的放射性来自两类元素及其同位素:

①铀及其子体元素的天然放射性。其放射性活度较小,尤其当铀燃料经过纯化、精制后,其中 Th, Ra(主要为γ辐射体)含量降低。

②由反应堆中的裂变、俘获、活化等反应生成的裂变产物、超铀核素和放射性同位素产生的放射性。该类核素的放射性活度约占核废物总放射性活度的 99%。

核废物的放射性活度随时间推移而减小,其中短寿命核素(^{90}Sr, ^{244}Cm, ^{137}Cs 等)在核废物产生后 300a 内即可衰变成无害水平;在前 1000a 间,高放废物的放射性主要由其中的裂变产物产生,此后其放射性主要自锕系元素(例如 Pu, Np, Cm,

Am 等)及其子体元素。

2. 放射毒性

某种放射性物质进入人(或动物)体内,放射性对人(或动物)体产生的毒害特性,称为放射毒性。根据其对人体危害大小,可将核废物分为高放射毒性废物、中等放射毒性废物和低放射毒性废物三类。核废物的毒性,主要取决于其中所含核素的放射毒性大小。

核素的放射毒性无法用现有化学、物理或任何其他方法消除,只能任其按固有规律衰变至无害水平,大约经过十个半衰期后,其放射毒性水平可降至原有的1/1000,经20个半衰期后降至原有的百万分之一。对于大部分放射性核素,只要经几十天至1a的储存,即可衰减至安全水平;低、中放废物中的^{137}Cs和^{90}Sr等较长寿命核素需隔离300～500a才至安全水平;对于高放废物中^{239}Pu、^{99}Tc、^{107}Pd等长寿命核素,则需隔离数十万年才至安全水平。因此,各类核素的处置方式,处置时间在很大程度上取决于其放射毒性及其半衰期。

3. 放射性废物的热效应

放射性废物(尤其高放废物)在生成后将持续地放出大量衰变热。在铀系的α、β、γ辐射过程中,三者释放的热量分别占总释热量的89%、4.5%和6.5%。高放废物和乏燃料中含有较多的长寿命α辐射体,因而可释放出较多衰变热;低、中放废物仅含少量长寿命α辐射体,其发热量也远小于高放废物。

高放废物在开始数十年内的衰变热随时间而迅速减小(表16.5)。在100a内,其热量主要由裂变产物释放,以后,锕系元素相继成为其主要释热体。因此,为了减少高放废物、乏燃料的释热量,在处理前一般需暂存一段时间。

表16.5 含1吨重金属的乏燃料及其后处理高放废物包壳废物的热功率衰减特征

离堆时间/a	乏燃料热功率/10^2W	高放废物热功率/10^2W	包壳废物热功率/10^2W
10	1290	1120	33.5
10^2	284	134	1.46
10^3	49.4	6.8	0.25
10^4	1.0	0.10	—
10^5	0.3	0.10	—
10^6	—	—	—

第二节　放射性废物处理
(Radwaste Treatments)

16.2.1　放射性废物处理总体原则(General Principles)

放射性废物处理包括废物的控制产生、分类收集、净化、浓缩、压缩、焚烧(减容)、固化、包装和暂存等环节,旨在尽量减小废物数量和体积、并将其加工成适合于最终处置的适当形式。

放射性废物管理的一般原则是:

①一切产生核废物的实践或设施,均应设立相应的废物收集系统,并控制核废物的产生量。

②处置活动必须按国家有关规定进行。

③经适当处理后的低放废液和废气向环境常规性排放,必须事先经环境保护部门批准。

④每一个实践或设施都应确定向环境排放的阈值,确定这些阈值时应进行最优化分析,并留出余地。

⑤除低放废液和废气可有条件、有控制地向环境排放外,其余核废物必须转化为不同类型的固化体,经最优化分析,在保证安全地与生物圈隔离条件下以固体废物形式处置,并需长期管理和监测。

放射性废物的处理与处置过程见图 16.1。

16.2.2　放射性废液和废气的处理(Treatment of Radioactive Liquid and Gas)

放射性废液和废气的处理主要包括净化、浓缩和固化。

净化和浓缩是放射性废气和废液的减容措施,采取适当工艺,使其中放射性核素衰变至无害水平或转变为小体积气、液体,经净化的气体、液体向环境中排放或被再循环使用,对浓缩物则进行固化处理。

16.2.3　放射性废气的处理(Treatment of Radioactive Gas)

放射性废气中的主要成分为惰性气体(Kr, Xe 的同位素)、活化气体(^{13}N, ^{16}N, ^{17}N, ^{19}O, ^{18}F, ^{37}Ar, ^{41}Ar)、放射性碘(单质,有机和无机碘)、固体微粒和氚。废气中的有害组分主要为气态裂变产物和放射性气溶胶。绝大多数放射性气态裂变产物的半衰期小于 1d;半衰期大于 1d 的放射性核素主要有^{3}H、^{85}Sr、^{85}Kr、^{139}I、^{133}Xe 等。废气中的放射性核素可通过加压储存衰变、吸附、过滤等方法除去或基本除去,被净化的气体可直接排入环境中。

图 16.1 放射性废物处理、处置流程图

1. 加压储存衰变

将废气压缩注入衰变箱中储存 60～100 天,使废气中的短寿命核素部分衰变,然后将净化气体排入大气中。实验证明,废气储存衰变箱中 3d 后,只剩下^{133}Xe(占 90%)、^{85}Kr 和^{85}Sr 等核素;经 60d 后,废气的放射性浓度可降低三个数量级,此时只仅剩下^{85}Kr。

2. 吸附

吸附法是广泛应用于放射性废气净化的工艺技术。在核电厂多采用活性炭吸附、净化^{139}I、Kr 及 Xe 等;在后处理厂采用渗银分子筛、渗银天然丝光沸石吸附、净化^{129}I。大部分吸附剂对废气中核素(^{85}Kr 除外)的去除率接近 100%。

3. 高效过滤

放射性废气的高效过滤净化是用玻璃纤维、合成纤维等材料作过滤介质,滤去废气中直径大于 0.3μm 的气溶胶微粒,去除率可达 99.97% 以上,同时完全吸附碘蒸气,从而净化废气。此法主要用于净化排风废气。

16.2.4　放射性废液的处理(Treatment of Radioactive Liquid)

放射性废液的处理一般采用蒸发、离子交换、凝聚沉淀、过滤、反渗透等技术，将废液浓缩减容，对浓缩残液进行固化、处理等，净化废水则被排入天然水体或循环使用。

1. 蒸发

蒸发浓缩是将待处理废液送入蒸发器加热管中，同时将工作蒸气通入加热管外侧管道，通过对管壁加热，使水蒸发，冷凝后排放或再处理后排放，蒸发残液经固化后处理。该法优点是浓缩效果较好(浓缩系数为 n×10～n×100)，处理效率较高，去污效果较好，特别适合处理含盐中等至高(200～300g/ L)、成分较复杂，且其浓度范围变化较大的废液；该法缺点是处理费用较高，不适于处理含有易结垢，具起沫性、腐蚀性、爆炸性的废液。

用于蒸发处理废液的蒸发器种类繁多，有釜式蒸发器、自然循环蒸发器(横管式，竖管式)、强制循环蒸发器、蒸汽压缩蒸发器、多效蒸发器、擦膜式或降膜式蒸发器等，其中以自然循环蒸发器的应用最广泛。

2. 化学沉淀

化学沉淀是将适当化学絮凝剂加进待处理废液中，经搅拌后发生水解、絮凝，使废液中的放射性核素发生共结晶、共沉淀，或被凝絮、胶体吸附后进入沉淀池中，以此达到分离、去污、浓缩废液的目的。

在化学凝聚沉淀处理中使用的絮凝剂种类很多，其中主要有：

①铝盐(硫酸铝、氢氧化铝、碱式氯化铝等)。可去除^{144}Ce、^{91}Y、^{89}Sr、^{106}Ru、^{137}Cs、^{95}Zr、^{147}Pm 等。

②铁盐(硫酸亚铁，氯化铁，氢氧化铁，硫酸铁等)。可去除^{141}Ce、^{144}Ce、^{140}Ba、^{60}Co、^{95}Zr、^{131}I、^{137}Cs、^{90}Sr、^{147}Pm 等。

③石灰-苏打。可去除^{90}Sr、^{115}Cd、^{46}Sc、^{91}Y、^{140}Ba-^{140}La、^{95}Zr-、^{95}Nb、^{185}W。

④磷酸盐(磷酸铝，磷酸铁，磷酸钙等)。可去除^{90}Sr、^{90}Y、^{144}Ce、^{144}Pr、^{95}Zr、^{95}Nb、^{105}Ru、^{106}Rh、^{147}Pm。

⑤锰盐(硝酸锰，高锰酸钾，锰酸钙等)。可去除^{90}Sr、^{90}Y、^{137}Cs、^{137}Ba、^{144}Ce、^{144}Pr、^{147}Pm、^{106}Ru、^{106}Rh 等。

⑥丹宁酸和阴离子交换树脂等。可去除^{131}I。

化学沉淀法操作简单，费用低廉，减容效果较好(浓缩系数为 80～800)，但去污效果较差(去污系数约 10～200)，宜处理去污要求不高的大体积低放废液；对中放废物，该法一般作为预处理手段与其他处理方法结合使用。

3. 离子交换

离子交换法是以离子交换剂上的可交换离子与液相中离子间发生交换的分离方法,采用离子交换剂从待处理废液中有选择地去除呈离子状态的放射性核素,从而净化废液。离子交换法适用于处理含盐度较低(<1g/L)、含悬浮固体物质较少(<4mg/L)的低、中放废液,例如核反应堆冷却水、乏燃料暂存冷却水、高放废液的蒸发冷凝液等(表16.6)。

表16.6 莫斯科处理工厂用离子交换法净化放射性废液的效果实例

放射性核素种类	去污系数	处理后废液的放射性浓度/(Bq·L^{-1})
^{90}Sr	500～5000	≤1.8×10^{-1}
^{134}Cs, ^{137}Cs	100～1000	～3.7
^{131}I	50～200	～3.7
^{144}Ce	100～1000	≤11
^{60}Co	100～4000	≤15
$^{95}Zr+^{95}Nb$	100～500	≤3.7
^{203}Hg	100～200	≤3.7

注:去污系数为废液净化处理前后放射性浓度之比。

离子交换剂可分为有机和无机两大类,在有机离子交换剂中应用最广泛的是离子交换树脂,例如苯酚、甲醛等缩聚物,苯二烯、二乙烯苯等共聚物等,它们对Sr, Cs具有较好的去污效果;其次为磺酸型离子交换树脂,即由煤、褐煤、沥青、木炭、泥煤、橄榄壳、硬果壳和废咖啡等物质经磺化处理而成的天然有机离子交换树脂。天然无机离子交换剂有膨润土、蒙脱石、伊利石、高岭土、蛭石、沸石、凝灰岩、多价金属的氧化物和氢氧化物(氧化锰,氢氧化锰,磷酸锆)等。

4. 过滤

过滤是用过滤器从待处理废液中除去沉淀物和悬浮固体颗粒的净化处理工艺,它只能有限地去除废液中的放射性核素。常采用的过滤设备有:

(1)沙滤池

在池底用石英沙、无烟煤、活性炭等滤料铺设成厚滤层,将待处理废液用离心泵压入池中,或自流入池中,废液流经厚滤层时过滤净化。该法常与絮凝沉淀法等联合使用。

(2)压滤器

在密闭的容器中装一多孔板,板面上预涂有一层硅藻土等过滤材料,废液缓缓流经该类多孔板,即可净化。该法能截留粒径为1μm以上的固体悬浮颗粒。

(3)微孔元件组合过滤器

用陶瓷土、金属、聚氯乙烯等烧结成的多孔圆筒形过滤器,其孔径可小至数微

米,用以过滤废液中的固体悬浮颗粒。另外,离子交换树脂床具有良好的过滤作用,对废液中的微小悬浮固体颗粒的去除能力远优于一般过滤器,可起到离子交换和过滤双重作用。

除上述方法外,放射性废液的净化方法还有生化处理法、电渗析法、反渗透法和离心分离法等。对于可燃性有机放射性废液,可用焚烧法浓缩减容。

16.2.5　放射性废液固化(Solidification of Radioactive Liquid)

固化是将废液转化为固体的过程,该固体被称为废物固化体,固化废液的材料被称为固化基材(如玻璃,水泥,沥青等)。例如废液经玻璃固化后成为玻璃固化体,经水泥固化后成为水泥固化体。

将废物转化成一适当固体形态,以减少其在储存、运输和处理期间由于自然过程而可能造成的放射性核素迁移或弥散,这一过程被称作核废物的固定。它一般是指将放射性固体废物与某些固化基材一起转化为某种稳定、牢固、永久固体物的过程。在习惯上将放射性废物固化与固定统称为广义的放射性废物固化。固化是核废物处置前最重要的处置措施之一。

核废物固化体的基本要求是:

①应具有良好的导热性、化学稳定性、辐射稳定性和一定的机械强度。

②具有较低的浸出率。

③无爆炸性、自燃性,对废物容器无腐蚀性。

④固化过程具有明显的减容效果,具有较大包容量。

⑤固化时应尽量少产生二次废物污染。

⑥固化工艺流程简单,能远距离操作、维修,处理费用较低。

常用的固化工艺有:玻璃固化;陶瓷固化;人造岩石固化;水泥固化;沥青固化;塑料固化。

表 16.7 列出了放射性废物固化方法种类、适用范围、主要优缺点等,其中沥青固化和水泥固化是当代工业规模固化低、中放废液的主要方法,玻璃固化是固化高放废的常用工艺;其他固化方法尚处于开发研究阶段。人造岩石固化是一种很有发展前途的高放废固化工艺,在国外已建立小规模实验工厂,我国也正对其作开发研究。

1. 玻璃固化

玻璃固化是将高放废液与玻璃基材以一定比例混合后,置于装有感应炉装置的金属固化设备中高温熔融,经退火后成为包容有废物的非晶质固化体。这是目前国际上工艺较成熟、应用最广的高放废液固化技术。

表 16.7 放射性废物主要固化方法

方法名称	固化对象	主要优点	主要缺点	应用状况
玻璃固化	高放废物	浸出率较低;减容比较大;辐射稳定性和导热性较好	成本较高;工艺较复杂;产生二次污染废物;固化体的热稳定性较差	工业规模应用
陶瓷固化				处于实验阶段
玻璃陶瓷固化				
人造岩石固化		固化体浸出率低;包容比大;辐射稳定性和化学稳定性较好	工艺较复杂;成本较高	由实验转入应用阶段
煅烧固化		减容比大(7～12);无浸蚀性;导热性、抗辐射性、热稳定性较好	浸出率高;化学稳定性较差	流化床法已得到工业规模应用
热压水泥固化		固化体的浸出率较低;热性能、机械强度、抗辐射性等较好;工艺简单,成本较低	研究不够	处于实验阶段
复合固化		固化体的机械强度大;浸出率低;抗辐射性好	工艺较复杂;成本高	处于实验阶段
沥青固化	低、中放废物	固化体浸出率较低;工艺简单,成本低廉;废物包容量大,减容比大(1.5～2)	固化体的导热性、抗热性、抗辐射性较差;易燃、易爆	工业规模应用
水泥固化		工艺简单,成本低廉;固化体热稳定性、抗辐射性较好;机械强度较大;无二次污染废物生成	增容明显(0.5～1 倍);固化体浸出率高	工业规模应用
塑料固化		工艺简单;减容比大(2～5);固化体的浸出率较低;热稳定性、导热性等较好;废物包容量大	成本高;设备较复杂	部分得到小范围应用

按成分和包容废物方式不同,玻璃固化基材已有:

①硼硅酸盐玻璃。这是目前国际上最普遍采用的玻璃固化基材,其固化体被称作标准固化体,作为与其他种类固化体参照对比。

②铝硅酸盐玻璃。其化学成分为 Na_2O、CaO、Al_2O_3、SiO_2等。

③磷酸盐玻璃。这是世界上最早开发研究一种玻璃固化基材,现仍有前苏联国家广泛采用,并被西方国家开发研究。

④高硅玻璃。其 SiO_2 含量高于硼硅酸盐玻璃,化学稳定性优于后者。

⑤玻璃复合基材。即在球状、丸状玻璃固化体表面包覆金属或陶瓷层,或将其埋入金属(铅或铅合金)基材中。

目前高放废液玻璃固化方法主要有四种:

①回转炉煅烧-金属罐熔融法,以两步法连续生产。此以法国马库尔 AVM 厂

为代表。

②焦耳加热陶瓷熔炉法,以一步法连续生产。此以 PAMELA 厂为代表。

③罐式法,以感应加热金属熔炉一步法间断生产。此以印度 WIP 厂为代表。

④罐式法,以二步法间断生产。

在以上工艺中,以第一、第二种代表当前国际发展方向。

无论何种固化工艺,都包括以下工艺过程:

①在 100℃蒸发、浓缩、干燥高放废液(预处理)。

②在 500～900℃煅烧废物(例如喷雾煅烧,流化床煅烧等),使其中硝酸盐分解生成氧化物。

③将玻璃基材与分解废物在 1000℃以上熔融,并急速冷却。

高放废液硼硅酸盐玻璃固化体的化学成分主要为 SiO_2、B_2O_3、Na_2O、CaO、TiO_2 及废物中核素氧化物(废物中的放射性核素呈氧化物形式被包封在非晶质玻璃相中),其化学成分和废物包容量变化较大,取决于玻璃基材成分、废物化学成分和工艺加工条件等。

2　陶瓷固化

陶瓷固化是将高放废液与一种或数种天然矿物或人工化合物一起经高温煅烧、热压等,制成稳定固化体的一种高放废液固化技术,它与玻璃固化技术的主要区别是,玻璃固化体是经熔融、快速冷却后生成的非晶质体,而陶瓷固化体是熔融、缓慢冷却后生成的晶质体。由于陶瓷固化采用天然矿物物料,在固化体中新生成了一些矿物相或类矿物相,因而它又被称为矿物固化或岩石固化。

放射性核素在陶瓷固化体中主要呈固溶体和独立矿物两种形式存在。按化学成分不同,陶瓷固化基材可分为硅酸盐陶瓷、钛酸盐陶瓷、铝酸盐陶瓷、磷酸盐陶瓷等;按固化基材和工艺流程不同,陶瓷固化基材又可分为烧结陶瓷、二氧化钛陶瓷、独居石陶瓷和玻璃陶瓷等。烧结陶瓷固化工艺主要有废液和添加剂混合、煅烧、装罐、封罐和冷却等(表 16.8)。

(1)烧结陶瓷

将高放废液与 Al_2O_3, SiO_2, TiO_2, ZrO,稀土元素氧化物等添加料,在 500～700℃条件下煅烧且在 1000～1400℃、50～140 MPa 条件下热压而成,放射性核素被固定在磁铁铅矿、尖晶石、晶质铀矿、刚玉、霞石和钙钛矿等新生矿物中。

(2) 二氧化钛陶瓷

二氧化钛在地下水中高度稳定。将高放废液与锐钛矿(TiO_2)粉末(粒度 0.4～0.7μm)混合,在 427～428℃流化床中煅烧,随后在 1150℃、20 MPa 条件下与钛金属或陶瓷包装同时热压,制成直径为 100mm 圆柱形固化体,其中锐钛矿变成金红石(TiO_2),放射性核素呈固溶体或独立矿物被金红石包容。

表 16.8 高放废物烧结陶瓷固化体的物理性质和浸出率

性 质	固化废物种类		
	高铝混合废物(SRP)	后处理军事废物(RHO)	高锆废物(ICCP)
废物包容量/ %(Wt)	60～65	60	70～80
密度/ (g·cm^{-3})	3.97	4.05	3.25
显微结构特征	显微多晶粒状	显微多晶粒状	玻璃和超显微晶粒状
固化温度/ ℃	1270	1300～1350	-
固化压力/ MPa	140	50～70	130
煅烧温度/ ℃	-	-	550
显微硬度/ GPa	6.9	10	4
抗压强度/ MPa	345	550	-
热膨胀系数/ C^{-1}	11×10^{-6}	-	13.5×10^{-6}
锕系元素浸出率	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}

注:SRP 为美国萨凡纳河工厂;RHO 为美国汉福特军事核工厂;ICPP 为美国爱达荷化学处理工厂。

(3) 独居石陶瓷固化

也称作磷酸盐矿物固化,其固化原理和工艺与烧结陶瓷固化大致相同,即把镧系元素氧化物、放射性废物氧化物溶于热 HNO_3 中,加入 $NH_4H_3PO_4$ 溶液,然后用粒状 $(NH_2)_2CO$ 控制沉淀过程;将沉淀物在 400℃条件下加热,制成粉末状物质,继而将其在 800℃煅烧,在 1000～1200℃、68 MPa 条件下热压 8h 即可。

(4) 玻璃陶瓷固化

高放废液的玻璃陶瓷固化是介于玻璃固化和陶瓷固化之间的一种固化工艺。将高放废液与有关基材在高温条件下(1100～1400℃)熔融、快速冷却(玻璃化)、再加热(630～960℃)及缓慢冷却(晶质化),最后形成玻璃和晶质相各半的固化体,放射性核素呈类质同象形式被固定在晶质相中,或呈固溶体形式分散于玻璃相中。玻璃陶瓷固化体具有许多优于硼硅酸盐玻璃固化体的特性,是今后最具有发展前途的高放废物固化方法之一。目前已开发的有榍石玻璃陶瓷、钡长石玻璃陶瓷、硅钛钡石玻璃陶瓷、玄武岩玻璃陶瓷和透辉石玻璃陶瓷等(化学成分均为铝硅酸盐玻璃)。

3. 人造岩石固化

人造岩石(synroc)固化是由澳大利亚发明的一种高放废液固化技术,实际上是一种钛酸盐陶瓷固化工艺。该类固化体的优点是:

①耐浸出性极好,在水溶液(即使在高温热水)中的平均浸出率,较硼硅酸盐玻璃固化体的低 5～10^4 倍,而且浸出温度越高,这种差异越大。

②机械强度、热稳定性和抗辐射性较等明显优于硼硅酸盐玻璃固化体。

人造岩石固化工艺流程较复杂,成本较高。其制作工艺为:

①将一份 $TiO_2 + ZrO_2 + CaO + Al_2O_3 + BaO$ 干粉末与四份高放废液混合均匀，置于 750℃回转炉中还原煅烧，制成干粉。

②用 2％钛金属粉与上述干粉混合、拌匀，装入不锈钢波纹型罐中，在真空状态下焊盖。

③将装有干粉的罐置于 1100℃电炉中预热。

④在 1150℃、30MPa 温压条件下热压成波纹圆饼状黑色人造岩石核废物固化体，大小为直径 34～34cm，高 9.5～16cm，重 30～60kg。

⑤将废物罐套入包装容器内，在不锈钢波纹型罐与包装容器之间留有空隙，填充导热性较好的重金属(铅等)。

实验结果表明，在 200℃水溶液中，人造岩石固化体的浸出率较硼硅酸盐玻璃固化体的低 $5～10^4$ 倍(对大多数元素可低 1000 倍)。

4. 水泥固化

低、中放废液的水泥固化是一项较成熟的处理技术，但目前高放废液的水泥固化技术还处于开发阶段。

(1)低、中放废物水泥固化

将水泥废液或湿固体废物、水、添加剂按一定比例依次混合，在常温下硬化成废物固化体，固化体可在硬化前储存在废物桶内，也可直接在废物桶中固化，还可将其直接灌浇在处置沟槽中。用于固化低、中放废物的水泥主要有波特兰水泥、硅酸盐水泥、矿渣水泥等。在固化时加入添加剂(如蛭石、沸石、膨润土、硅酸钡、水玻璃、陶土和飞灰等)，可以增强水泥固化体的耐浸出性、机械强度、凝固特性。

(2)中、高放废物热压水泥固化

热压水泥固化是用普通水泥、添加剂、核废物和水混合后，在一定温度、压力下热压固化的一种中、高放废液固化工艺，固化基材使用水泥(22％)、飞灰(11％)、黏土(7.5％)、沙(27.75％)、核废物(15％～25％)、水(15％)、$NaNO_3$(0.75％)、水减缩剂(1％)、在 85～250℃、0.1～1.5MPa 条件下热压而成。但该类固化体性质不太理想，目前美国已停止对该工艺的研究开发。

5. 沥青固化

沥青在无微生物侵蚀条件下的埋藏寿命约为 $10^5～10^6$ a。沥青固化是将低、中放废物和沥青在一定碱度、配料比、温度、搅拌速度条件下产生皂化反应，使料液中的盐分或固体物质均匀地包容在沥青中的一种固化技术，适合固化蒸发残液、废树脂、再生液、有机溶液、化学沉淀泥浆、废塑料和焚烧灰等低、中放废物。

沥青固化方法主要有：

①高温溶化混合蒸发法。将废物加入已熔化的沥青中，在 150～230℃搅拌、

混合、蒸发,然后注入废物桶内冷凝。

②暂时乳化法。将废物、沥青、表面活性剂加热混合成乳状体,再分离出其中水分后,在 140～150℃干燥、脱水、装桶。

③化学乳化法。将废物与乳化沥青混合,增温、脱水、直接固化在废物桶中。

6. 塑料固化

塑料固化是近 20 余年成功开发的低温条件固化新工艺,可使热塑性塑料或热固性塑料与废物混合、聚合、固化,目前,该固化工艺已在美国、日本小规模应用。

已开发的塑料固化工艺主要有以下几种:聚乙烯固化、聚氯乙烯固化、环氧树脂固化、聚合物浸渍混凝土及聚酯固化等。一般是在低温条件连续、均匀地向塑料熔融体中加注废液,用机械搅拌,待水分蒸干后注入废物储存桶中即成。

第三节 放射性固体废物的处理 (Solid Radwaste Treatment)

放射性固体废物不仅包括各类固体废物,而且包括废液处理系统产生的浓缩液、去污化学废液、沉淀泥浆、过滤淤渣和废过滤器芯等湿固体废物。放射性固体废物的处理方法主要有切割、压缩和焚烧。

16.3.1 切割(Cutting)

切割是将大块固体废物用切割器械或切碎设备切成断片的减容工艺,经处理后,固体废物的减容比可达 3(对于小件)至 10(对于大型构件)。常用的切割器械有等离子火焰切割机、电弧切割机和激光切割机等。切割或切碎处理一般在废物的焚烧、压缩处理前进行。

16.3.2 压缩(Compression)

压缩是利用机械压缩将放射性固体废物压实的一种减容处理工艺,通过压缩,固体废物的体积明显缩小,为以后经济地处理、处置放射性废物创造有利条件。压缩减容的优点是成本较低,几乎不产生二次废物,设备简单,操作方便,易实现自动化;缺点是减容效果较焚烧法差,且不能减重。

被压缩废物的减容效果取决于原废物的孔隙度、密度、压缩机的压强和废物回弹能力等。用于压缩固体废物的压缩机种类繁多。按压缩方式可分为单向压缩机、三向压缩机、卧式压缩机、立式压缩机、固定式压缩机、车载流动式压缩机等;按压力大小可分为低压压缩机(数十吨至 100 吨压力)、中压压缩机(数百吨至 1000 吨压力)和高压压缩机(数千吨压力);按压缩机的驱动力可分为水压、油压和气压

压缩机等。

低压压缩机一般在固体废物产生现场使用,高压压缩机则常置于处置场使用。我国秦山核电厂采用国产桶内直接压缩封装机(200kN)压缩固体废物,减容比为3～5。

16.3.3　焚烧(Incineration)

焚烧是对可燃性废物减容的常用处理技术,将可燃性(固体、液体)废物置于高温焚烧炉内焚烧,产生的惰性熔渣或灰烬(具有比原来高得多的比活度)供进一步固定等。焚烧处理可获得显著的减容和减重效果,去污系数可达 10^4～10^6,适用于处理大多数可燃性核废物,但焚烧设备的基建投资费用大,尾气需作二次处理,因而不宜为每座核设施都配备焚烧炉,宜建立区域性焚烧中心,至 20 世纪 70 年代中期,全世界已建成 40 余座核废物焚烧炉(主要为过量空气型,其次为热解型),在德国已建成最先进的两级焚烧炉,并投入使用。

目前有干法焚烧和湿法焚烧两种工艺。

1. 干法焚烧工艺

开发研究最早,目前应用最广,处置效率较高,但其尾气净化工艺复杂。

干法焚烧炉的炉型繁多,其中最重要的是过量空气焚烧炉和热解焚烧炉。干法焚烧炉一般具有以下结构系统:

①焚烧系统(包括加料,推料,焚烧,出灰等装置)。废物由加料器械间断式投入炉膛内,再由推料装置将废物推入炉膛。焚烧温度取决于炉型,其范围 500～1600℃。焚烧灰烬由出灰装置装入废物桶内备用。

②净化系统。燃烧废物经除尘器、过滤器净化后,通过高烟囱向大气稀释排放。

③控制系统。由中心控制室控制、检测焚烧炉的运行全过程。

④通风系统。维持炉膛内空气供给及工作场所空气新鲜等。

2. 湿法焚烧工艺

尚处于研究开发阶段,其处理效率较低,但易于回收灰烬中的钚和铀,且尾气处理工艺较简单。

湿法焚烧工艺可分预处理(监测,分类,切割)、酸浸煮、尾气处理、酸分馏和残渣处理(如回收 Pu, U)等流程。该法尤其适用于焚烧α废物,其减容比最大可达70～80,并可回收废物中 95% 以上的 Pu、U,因而也适用于处理含钚废物。

第四节 放射性废物的包装
(Radwaste Canister)

放射性废物包装是对废物固化体外加容器、材料等,使之成为基本处理单元的过程。外加的物件称为废物包装体,包括废物固化体及其外侧容器(罐,桶等,称之为内包装)、废物容器外的二次包装容器(又称为外包装)、套筒、容器内的衬料(例如铅金属,热压铜粉,混凝土,黏土等)。低、中放废物的包装体较简单,在大多数情况下无二次包装容器。如图 16.2 所示。

图 16.2 高放废物包装示意图[4]

1. 处置单元外包装;2,4. 衬填料;3. 包装塞;5. 废物罐;6. 废物固化体;7. 外包装容器;8. 空隙;9. 套筒

16.4.1 包装体的功能(Canister Functions)

①便于对废物实施储存、运输和处置,因而所有包装体的质量、体积、和形状尺寸都应符合国家标准要求。

②可作为抗震动、抗高压、安全处置废物的机械屏障。

③阻止核素向外迁移的机械、化学屏障,保护废物在处置早期不受地下水的侵蚀。

④屏蔽来自废物的辐射线。

⑤传导衰变热。

16.4.2 包装体材料(Canister Materials)

核废物包装容器材料应具有以下特性:机械强度较大;耐侵蚀,耐辐照,屏蔽辐

射线的性能较好;制作成本较低;自重较小;装载废物量较大。

国外常用的废物容器材料主要有以下几种。

(1)金属

如不锈钢、低碳钢(侵蚀率为 23μm/ a)、铸铁、铜及铜合金、钛(镍、锆)合金(Ti >97%, Mo—0.3%, Ni—0.8%, 0—0.2%,其侵蚀率约为 1μm/ a)等,其中以不锈钢、低碳钢、铸铁材料最常用。美国能源部(1985)推荐在不同岩石中处置高放废物的容器金属材料分别为:

①在玄武岩中——低碳钢,其次铁-铬-钼合金、铜镍合金。

②在岩盐中——低碳钢,其次为衬有薄钛合金板的碳钢。

③在凝灰岩中——奥氏体不锈钢,其次为铜及其合金。

④用于低、中放废物包装体的材料主要为稍廉价的不锈钢、铸铁、碳钢等。

(2)陶瓷

主要用于制作低、中放废物容器及高放废物容器的二次包装容器。

(3)混凝土

主要用于制作低、中放废物容器。我国大亚湾核电厂拟采用混凝土容器包装低、中放废物。

(4)玻璃钢

用聚酯玻璃钢制成的低、中放废物容器,自重小,机械强度较大,表面光洁,易去污,成本较低。

16.4.3　包装容器样式(Canister Styles)

各国采用的核废物包装容器没有统一的样式。大多数为圆桶状,少数低、中放废物容器为箱状。国际上将 200L 金属桶推荐为固体废物标准容器。

圆桶形容器规格为:内径约 30～140cm;高约 50～200cm(最高达 300～400cm)。

箱形废物容器废物容量约为数十升至 200L 以上,规格为:长 120～320cm;宽 80～200cm;高 70～170cm。

低、中放废物包装容器多采用单重包装,有时为了增加其屏蔽效果和机械强度,可在容器中加衬其他材料,例如在钢桶中内衬混凝土,在混凝土桶中加衬金属材料,或在废物容器内、外壁加涂树脂等。

高放废物包装容器结构较复杂,一般具多层结构。欧盟国家使用的高放废物包装有四种不同样式:

Ⅰ型——二重包装,内容器壁为不锈钢,厚约 3～5mm,外包装容器壁较薄,为 6mm(钛合金质),在内包装容器与外包装容器之间,填有金属铅或混凝土等材料。

Ⅱ型——其结构大致与Ⅰ型相似,仅外包装容器壁较厚(达 75mm,碳钢质)。

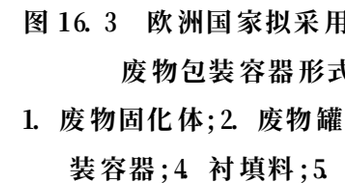

图 16.3 欧洲国家拟采用的高放废物包装容器形式
1. 废物固化体;2. 废物罐;3. 外包装容器;4. 衬填料;5. 空隙

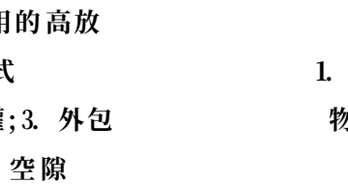

图 16.4 高放废物内、外包装容器的规格实例
1. 钛金属外包装容器(厚 6 mm);2. 铅金属;3. 高放废物玻璃固化体;4. 铬镍钢质废物容器;5. 焊接密封;6. 抓头。图中长度单位为 mm

Ⅲ、Ⅳ型——具二重包装,外包装容器较厚,包装容器内无衬填料。

第五节 放射性废物的暂存与运输

16.5.1 放射性废物的暂存(Temporary Reserve)

此法是指放射性废物最终处置前在可控条件下各种形式的短期储存,暂存的目的是为了隔离和控制放射性物质以不可接受的量释放到环境中,保证公众和职业人员受到的照射不超过相应的剂量当量限值,通过暂存,废物放射性达到尽可能低的水平。

凡产生放射性固体的过程,皆应建立相应的废物暂存设施。废物暂存服务于废物最终安全处置。作暂存的废物必须在包装、储存方式上保证其在处置前可完整回取。

放射性废物暂存可有以下形式:处理前的暂存;处置前的中间储存;累积暂存;衰变暂存。

1. 处理前的暂存

由核电厂产生的低、中放废物和乏燃料,在对其进行固化或后处理之前,为了降低其放射性比活度和衰变温度,须在厂内或厂外就地作短期储存。储存时间:

低、中放废物——3～5a;

乏燃料——数十天至数年不等;

后处理高放废液——20～30a。

2. 处置前的中间储存

核废物经固化处理后,一般需以短期储存后再作最终处置,即中间储存,用来强制冷却和降低其放射性比活度。中间储存时间:

低、中放废物——数月至 10a(我国定为 5a);

高放废物——20～100a;

不处理的乏燃料——1～50a。

高放废物暂存的中间时间取决于废物年龄、废物固化体尺寸大小、固化体中废物包容量、主岩种类、处置时回填材料各类、废物罐在中间储存设施中的堆置密度等。

3. 累积暂存

为了积存至足够数量后转移至处置地,或因处置场暂不能及时接受废物,也需进行短期积累储存。

4. 衰变暂存

某些退役废物中的大型设备和构件污染较严重、放射性水平较高,一般需就地封存 10～15 年,待其比活度降至一定水平后,再进行去污和其他处理。

核废物暂存方法有湿法和干法两类,所采用的冷却方式有水循环冷却、空气强制冷却和空气自然循环冷却三种。

5. 湿法暂存

将废物、废物固化体容器储存于地下或地面水池中,强制循环水冷却废物;

6. 干法暂存

废物置于特制的大容器中或地下室中储存,其优点是储存成本较低,不产生二次废物,但储存容器的制造成本较高。

16.5.2 放射性废物的运输(Radwaste Transport)

是指将核废物从核设施转移至暂存地,以及将废物容器送至处置地等。为了保证核废物运输及环境不受污染,保证运输人员和公众接受的辐照剂量在尽可能的水平,运输核废物时有以下严格要求。

(1)运输单元

国际原子能机构规定,运输中、高放废物、乏燃料、超铀废物和部分低放废物,必须使用有屏蔽装置的集装容器(集装箱,运输罐,储罐,槽车等),运输容器外表面的辐射水平必须低于相应限值。

(2)运输路线

据国际原子能机构规定,在运输核废物时,并不要求有规定路线,但一些国家在运输乏燃料和其他高放射性活度物质时对运输路线给予了限制。一般而言,应根据交通条件、运输里程、沿途人口分布,经济布局和政治因素等,选择经济、安全的运输路线。

(3)运输工具

采用何种运输工具,取决于运输距离、废物数量和种类、交通状况等。运输核废物的交通工具主要有:

①汽车。用于短距离不停靠运输,机动、灵活,无需中转。

②火车。用于长距离运输。

③船只。用于处置场紧临于海岸、海岛的废物运输。

④混合工具。汽车、火车相结合的运输方式。

运输放射性物质时,对其各类、包装、货包外表面辐射水平、运输方式等均有特殊规定。在放射性物质货包外必须贴有电离辐射标志,以期采取特殊装运措施。

16.5.3 放射性废物的处置(Radwaste Disposal)

消除核废物对生态环境的危害,一般可通过三种途径实现:

①通过裂变反应(加速器、反应堆),将核废物中的放射性核素转变为非放射性或弱放射性核素,即核嬗变处理法。此法耗资甚巨,并产生二次废物,目前各国正探索其实际应用的可能性。

②将核废物极度稀释至对生态环境无害的水平(接近本底值)。例如有控制地向天然水体(河、湖、海、洋等)排放经预处理的废液等。

③将核废物与生态环境长期或永久地隔离,不再回取。此类方法曾提出过冰层处置法、太空处置法等,但现在各国倾向于利用地质处置法,即利用土壤、岩石、水等地质介质,采用地质手段将核废物与生态环境长期或永久地隔离,不再回取(核废物安全全隔离期为:低,中放废物——300～500a,高放废物——10 万年以

上)。

自 20 世纪 40 年代美国开始处置低放废物以来,已有近 50 年核废物处置经验。虽然目前各国对低、中放废物进行可行性研究,但就整体而言,低、中放废物地质处置技术已较成熟,许多国家已拥有自己的低、中放废物处置场。但对于高放废物处置技术,自 1954 年美国首先开始研究至今,目前仍处于研究和探索阶段。只限于地下实验室研究和场地特性评价。即将投入使用的世界上首座高放废物处置库,正在进行场地特性评价之中。

放射性废物处置方法见表 16.9。

表 16.9　放射性废物处置方法分类

放射性废物种类		处置方法(介质)	实际采用现状
放射性液体废物	低、中放废液	地质处置法	
		地下渗滤(土壤,沙,砾)	曾采用,现已停止使用
		深井注入(页岩,黏土岩等)	前苏联、美国曾采用,现已停止使用。德国今后拟采用
		非地质处置法	
		预处理后排入天然水体(河,湖,海水)	广泛采用
	高放废液	岩石熔融处置(页岩,花岗岩)	研究中
放射性固体废物	低、中放固体废物(固化体)	地质处置法	
		1. 陆地浅埋(土壤,沙,砾)等松散沉积物	广泛采用
		2. 废矿井处置(盐矿,铁矿,铀矿等)	广泛采用
		3. 深岩硐处置(盐矿,花岗岩,黏土岩,凝灰岩等)	偶有采用
		4. 海岛处置(土壤,岩石等)	国际上已禁止
		5. 滨海底处置(岩石)	仅瑞典采用
		水力压裂处置(页岩等)	美国曾采用,现已停止
		非地质处置法	
		海洋投弃(海水)	沿海国家曾采用,现已禁止
	高放固体废物(固化体)	地质处置法	
		1. 深岩硐处置(盐矿,花岗岩等)	各国拟广泛采用
		2. 废矿井处置(盐矿等)	采用
		3. 深钻孔处置(岩盐,花岗岩等)	实验开发阶段(丹麦,意大利)
		4. 深海床处置(黏土)	实验开发阶段
		非地质处置法	
		1. 核嬗变处理	实验开发阶段
		2. 冰层处置	已基本摒弃的设想
		3. 太空处置	已基本摒弃的设想
	铀尾矿和铀废矿石	1. 地面处置	广泛采用
		2. 废矿山和岩硐回填(各类岩石)	采用

放射性废物处置场自建设至关闭,一般需经历以下四个阶段,并且在各阶段必须进行安全分析和环境评价:

选址——约 3～15a;

设计和建造——约 3～5a;

运行——30～100a;

关闭——约 10a。

1. 处置场(库)选址

合理选址是安全处置核废物的关键步骤之一。核废物处置场(库)址的选择,应根据核工业布局、所处置废物种类、地质环境、水方条件、人口分布、交通条件、社会和经济等,在分析比较的基础上,为低、中放废物选择合适场地,为高放废物选择最优场地作为处置库址。凡选取的场(库)址均需确保在正常运行和发生意外事件情况下,当代人和后代人所受辐射有效剂量当量不得超过规定限值,公众所受集体有效剂量当量应达到尽可能低的原则,同时进行代价利益分析。

2. 处置场(库)的设计和建造

处置场(库)的设计应以待处置废物的性质和数量为依据,必须保证在正常操作期间和发生事故情况下操作人员和周围居民的安全,必有保证可能返回人类生活环境的放射性核素在任何时候都不会超过允许水平。由于低、中放废物处置方式与高放废物的处置方式不同,因此对这两类废物的处置场(库)的设计要求也不同。

3. 处置场(库)运行

处置场(库)运行包括废物的接受与搬运,废物处置运行,运行监督,事故处理等环节。在处置场(库)正式投入运行前,必须首先获得国家颁发的放射性废物处置场(库)运行许可证。

(1)申请运行许可证

处置场(库)运行许可证的申请内容应包括:欲处置废物的性质和数量;处置的放射性核素限量(包括总量和比活度);场(库)内、外环境监测计划;对废物处置情况和环境监测结果的报送要求;事故应急计划及补救措施等。

(2)运行基本原则

①处置场(库)的运行应保证其操作人员所接受的辐射剂量低于国家规定限值。

②废物的减容、固化等处理,原则上应在送到处置场(库)前完成,必要时也可在场(库)内进行。

(3)废物的接受和搬运

废物运到处置场(库)后,必须进行检查,以确认废物包装体符合包装要求,在运输时无损坏。处置场(库)应具备与处置操作和运输方式相适应的搬运器械(吊车、叉车、遥控抓钩等)。

(4)废物处置运行

废物处置操作包括废物的搬运、堆置以及处置单元的封闭。在整修处置操作过程中,均应保证操作人员和公众安全,严格按操作远程进行。应建立废物处置运行档案,其内容有:废物处置的日期和位置;废物桶或箱的系列号、产地;废物中主要核素种类、总活度、比活度、辐射水平;废物的体积和质量;处置操作事故等。

应在废物处置场(库)区和处置单元附近设置永久性标志,标明废物埋藏的位置和有关事项等。高放废物的深处置操作主要通过机械手完成。

(5)运行监督

处置场(库)运行单位应负责场(库)内环境的日常监测,其内容有:表面污染测量;地下水样品分析;地表及一定深度岩土样品分析;植物样品分析;空气样品分析;近场主岩物理性质测定和辐射监测等。

4. 处置场(库)的关闭

当处置场(库)储满核废物,或已达到许可证允许处置的废物数量或放射性限值时,处置场(库)应实行正常关闭;当发现处置系统的设计或场址选择有不可改正的错误,或发生严重事故,或发生不可预见的自然灾害使处置场(库)不再适合处置废物时,则应实行非正常关闭。处置场(库)的非正常关闭应得到国家有关部门批准,预先作出相应计划。

低、中放废物浅埋处置场关闭后一般需经历三个阶段:

封闭阶段——刚关闭的处置场应保持封闭,不许任何人进入场区。

半封闭阶段——当证明废物的危害已很小时,而且废物的覆盖层完好,可以允许进出场区,但不允许进行挖掘或钻探等作业。

开放阶段——超过规定控制其后,废物的放射性已降到不需辐射防护的水平,经验证后,场区方可完全开放。

16.5.4　安全评价(Safety Evaluation)

为了评估废物处置设施的功能,在处置场(库)选址、设计、运行和关闭的各个阶段,必须进行安全分析和环境影响评价。

参考文献

闵茂中. 1988. 放射性废物处置原理. 北京:原子能出版社

王宝贞.1979.放射性废水处理(上册).北京:科学出版社

王志雄,周宏春. 1996. 放射性废物处置概论.北京:科学出版社

Berlin R E, Stannton C C. 1989. Radioactive Waste Management. New York: Wiley Interscience Publication

Roxburgh I S. 1987. Geology of High-level Nuclear Waste Disposal, An Introduction. London: Chapman and Hall

Roy R. 1982. Radioactive Waste Disposal, Volume 1: the Waste Package. New York: Pergamon Press

Simon R. 1986. Radioactive Waste Management and Disposal. London: Combridge University Press

第十七章　清洁生产

清洁生产(cleaner production)是目前一个世界性的热门话题,其主要关心考虑的是从源头控制工业生产企业的污染,也就是说基本上关注的是第二产业。例如,中华环保网对清洁生产的说法就是:清洁生产是要从根本上解决工业污染的问题,即在污染前采取防止对策,而不是在污染后采取措施治理,将污染物消除在生产过程之中,实行工业生产全过程控制。

2000 年 7 月 20 日颁布执行的中华人民共和国清洁生产法(草案)总则中指出:“本法所称清洁生产,是指将污染预防战略持续地应用于生产全过程,通过不断地改善管理和推进技术进步,提高资源利用率,减少污染物排放,以降低对环境和人类的危害。”

中华人民共和国清洁生产法(草案)总则中更进一步限定:“在中华人民共和国领域及管辖海域内从事工业生产经营活动的单位和个人,应当遵守本法。”

因此,直到 20 世纪末、21 世纪初人们概念中所谓清洁生产基本是针对工业生产的。

第一节　工业企业的清洁生产
(Cleaner Production in Industries)

自从工业革命以来,地球的自然资源日益减少,有些资源,特别是矿石类资源是不可再生的,只会越用越少,总有一天会消耗殆尽,如煤、石油和矿石等,它们限制了工业的发展,限制了经济的增长。据专家预测,地球上经历了 38 亿年演化而储存下来的自然资源,若按目前的消耗速度,到 21 世纪末将几乎耗尽,而且,地球自然系统为人类生存和发展所提供的各种服务,每年产生的价值约合 33 万亿美元,其稳定性一旦被破坏,就不能恢复,这将给人类的生存带来毁灭性的灾难。

1970 年,科学家组织发起了第一个世界地球日,向全世界提出警告,人类工业活动正在破坏地球的自然生态系统的稳定性,呼吁人们保护地球。1972 年,罗马俱乐部公开发表第一个研究报告《增长的极限》,对高增长、高消费提出警告,用系统动力学方法全面阐述了人口问题、粮食问题、自然资源问题和环境污染问题(生态平衡问题)等一系列全球性问题及相互关系,产生了广泛而又深远的影响。1972 年 6 月,联合国在斯德哥尔摩召开了人类环境会议,宣读了《只有一个地球》的庄严宣言,向全世界呼吁,控制人口增长,节约能源和资源,改变盲目破坏生态环境的行

为,绿化环境等,并第一次提出“贫穷是一切污染中最坏的污染”。1981 年,莱斯特·布朗出版了《建设一个可持续发展的社会》,书中引用了联合国环境方案中一句话:“我们不只是继承了父辈的地球,而且还借用了儿孙的地球”,因此要求人类自觉地改变价值观念,从传统工业模式转换到可持续发展的模式。

20 世纪 70 年代末期以来,不少发达国家的政府和各大企业集团(公司)都纷纷研究开发和采用清洁工艺,开辟污染预防的新途径,把推行清洁生产作为经济和环境协调发展的一项战略措施。那么究竟什么是清洁生产呢?

17.1.1 清洁生产的定义(Definition of Cleaner Production)

在提出转变传统的生产发展模式和污染控制战略时,曾采用了不同的提法,如废物最少量化、无废少废工艺、清洁工艺、污染预防等等。但是这些概念不能包容上述多重含义,尤其不能确切表达当代融环境污染防治于生产的可持续发展新战略。

1990 年 9 月联合国环境规划署工业与环境计划活动中心(UNEPIE/PAC)在英国举办第一次推动清洁生产研讨会,提出清洁生产的概念,获得各国响应,共有 34 个国家承诺合作,清洁生产的理念开始逐渐扩散。1992 年 6 月在巴西举行联合国环境与发展大会(UNCED),各国代表所提交的 21 世纪议程报告中确认了清洁生产是一种协调环境和经济发展的关键方法。清洁生产兴起的另一个重要因素是,人类科学技术的进步,为解决环境污染、降低消耗提供了新的技术手段,使清洁生产成为可能。

1997 年初联合国环境规划署(UNEP)将其定义为清洁生产是将整体预防的环境战略持续应用于生产过程、产品和服务中,以增加生态效益和减少人类及环境的风险。对生产过程,清洁生产要求节约原材料和能源,淘汰有毒原材料,减少降低所有废弃物的数量和毒性。对产品,则要求减少从原材料提炼到产品最终处置的全生命周期的不利影响。对服务,要求将环境因素纳入设计和所提供的服务中。即利用清洁的生产工艺,将污染最大限度地控制在各个可能产生污染的生产环节中,以减轻末端治理的压力。

17.1.2 清洁生产与末端治理(Cleaner Production and Conventional Pollution Control)

清洁生产是将污染预防战略持续地应用于生产全过程,与传统的末端治理的根本区别在于:传统的末端治理与生产过程相脱节,先污染后治理,侧重点是“治”;清洁生产是从源头抓起,实行生产全过程控制,使污染物消除在生产过程中;对产生的废物实行综合利用,侧重点是“防”。一个形象的说法是:末端治理是“亡羊补牢”,而清洁生产则是“未雨绸缪”,羊丢失之前就把羊圈修补好。

传统的末端治理,投入多、运行成本高、治理难度大,只有环境效益,没有经济效益,企业没有积极性;清洁生产是从产品设计、原材料选择、工艺路线、设备选用、

废物利用各个环节入手,通过不断地加强管理和技术进步,提高资源利用率,减少污染物排放量,把污染尽可能地消除在生产过程中,大大减轻了末端治理费用,降低了治理技术开发的难度,企业在污染防治的同时,实现一定的经济效益,能够调动企业防治污染的积极性。

17.1.3　清洁生产的内容(Contents of Cleaner Production)

清洁生产包括三方面的内容:

(1)清洁的能源

采用各种方法对常规的能源如煤采取清洁利用的方法,如城市煤气化供气等;对沼气等再生能源的利用;对太阳能和风能的利用;新能源的开发以及各种节能技术的开发利用。

(2)清洁的生产过程

尽量少用和不用有毒有害的原料;采用无毒、无害的中间产品,选用少废、无废工艺和高效设备;尽量减少生产过程中的各种危险性因素,如高温、高压、低温、低压、易燃、易爆、强噪声、强振动等;采用可靠和简单的生产操作和控制方法;对物料进行内部循环利用;完善生产管理,不断提高科学管理水平,尽量减少原料的消耗。

(3)清洁的产品

产品设计应考虑节约原材料和能源,少用昂贵和稀缺的原料;产品在使用过程中以及使用后不含危害人体健康和破坏生态环境的因素;产品的包装合理;产品使用后易于回收;重复使用和再生;使用寿命和使用功能合理。

17.1.4　清洁生产在中国(Cleaner Production in China)

“清洁生产”这一新的概念在我国也正被各级地方政府官员和工厂企业管理者所认可和实践,1994 年末,我国成立了“国家清洁生产中心”,随后,北京、上海、山东、内蒙古等 11 个省、市、自治区也建立了地方性清洁生产中心,此外还成立了石化、化学、化工、冶金和飞机制造业等行业清洁生产中心。国家清洁生产中心已举办了 150 多个清洁生产培训班,已有 11000 多生产管理干部参加了培训。现在,我国已拥有自己的清洁生产外部审计员和内部审计员近千人。在环保部门、经济综合部门以及工业行业管理部门的大力推动下,总计有 24 个省、市、自治区已经开展或正在启动清洁生产示范项目,涉及的行业包括化学、化工、轻工、建材、冶金、旅游、石化、电力、纺织印染以及交通业等。到 2000 年,全国已有 400 多家企业完成了清洁生产审计。据测算,实施清洁生产后,每个企业平均每年可减少污染物排放 20%,产生经济效益 100 多万元。在已实施清洁生产的企业影响下,现在许多工厂企业在治理污染时一改以往‘头疼医头,脚疼医脚’,一味修建治污设施的末端治理模式,而代之以实施‘清洁生产’。在原料的选择、能源的分级利用、物料和能量的循环

利用、生产工艺的改进以及加强科学生产管理等方面 下功夫,结果既减少了污染,又降低了消耗,实现环境效益和经济效益" 双赢 "。这表明,我国治理污染的方式正由传统的末端治理向以源头削减和全生产过程控制污染为特征的清洁生产转变。

17.1.5 实施清洁生产的程序(Procedure of Cleaner Production)

一个工厂企业,要实现清洁生产,必须要经过严格而科学的工作程序。下面介绍一下基本内容。

1. 基本概念

清洁生产审计是对工厂企业目前的以及将来的生产计划和生产过程、生产工艺、产品及服务实行全生命周期的预防分析和评估,特别是对生命周期全过程中的重点环节或" 瓶颈 ",主要工序产生的污染进行定量监测,对全过程的物料和能量进行衡算,找出高物耗、高能耗的环节及原因。在此基础上,以清洁生产技术为原则,提出对策,制定方案,构成清洁生产框架。

2. 程序

清洁生产的工作程序,一般有如下七个阶段。

(1)筹划和组织

在企业内部进行清洁生产思想和清洁生产审计工作的宣传、教育。建立清洁生产审计工作领导班子,制定审计工作计划,并落实资金和人员。

(2)预评估

对企业内部生产全过程进行现场调查、摸底,重点了解原辅料、主要产品、能源、用水及废弃物在生产过程中的流入、流出和去向,并了解设备水平、设备管理和设备维修保养情况,尤其要了解污染物排量、毒性、目前处理方法、效果、废弃物年处理费用、" 三废 "综合利用情况以及存在的主要问题,从中找出审计的重点工序,发现污染严重、消耗大、环境压力大、但有明显清洁生产机会的车间、工段或工序,作为重点整治对象,并针对重点审计对象,设置清洁生产目标。

清洁生产的目标设置是依据国家有关部门的标准和企业本身的条件,并参照国内外同行业同规模、有类似生产过程的厂家水平,进行定量化。不但要有减污、降耗的绝对量,而且还有相对量指标,必须实行目标责任制和目标管理。

图 17.1 评估工作的基本流程

在预评估中发现的一些问题,如果马上可以解决的,

应该立即解决;如果投入少量资金能解决的,应该近期抓紧解决;对那些重点问题,难题,必须组织力量、资金,认真研究解决方案,边审计,边解决。

(3)评估

评估工作的基本流程见图 17.1。

评估的全过程即正式对整个生产流程进行物料和能量的实际测量,并进行衡算,从中找出废弃物产生的原因,找出原材料浪费和"跑,冒,滴,漏"的环节及原因。发现物料流通、生产过程、质量管理、废物排放和产品服务各个环节存在的问题及不足,为实施清洁生产提供基本数据。这里要特别强调的是,重点资料应包括工艺资料,原材料和产品及生产管理资料,废弃物管理,处理及排污费等资料和国内外同行业的相关参考资料。

(4)方案的产生和筛选

图 17.2 为该项工作的操作流程。

在评估筛选的基础上,制定清洁生产初步方案。初步方案可以有数个,各具特色,各有优点,供进一步筛选用。表 17.1、表 17.2 和表 17.3 是一些摘引来的方案实例,仅供参考。

图 17.2　方案的产生和筛选

表 17.1　清洁生产核对清单

操作	内容
废物分离	防止有害废物与无害废物的混合
	恰当分组存放材料
	将不同类溶剂分开
	将液体废物同固体废物分开
预防性维护计划	建立设备履历卡,注明设备所在位置、特性及维护情况
	建立总体预防性维护进度表
	将制造厂发的设备维护手册置于手边
	建立人工或计算机操作的设备修理履历档案
培训和意识	提供下列培训:
	设备操作,将能源使用及材料浪费减至最小程度
	妥善的物料搬运,减少浪费和溅洒
	阐明有害废料的生成和处置在经济和环境方面的影响,强调污染预防的重要性
	查明并减少产生在空气、土地和水中的物料损失
	发生事故时尽量减少物料损失的紧急措施
有效监督	领导层承诺一项积极的污染预防计划
	严密监督可提高生产率并减少无意中产生的废物
	集中废物管理,各部门指定一位安全及废物管理负责人
	教育职工了解污染预防的效益
	建立污染预防目标
	进行污染预防评估

续表

操作	内容
职工参与	将企业各方面和各部门都组合到污染预防工作中来
	“质量小组”(职工和检验人员之间的自由座谈会)可确定出减少废物的途径
	征求并奖励职工对减少废物的建议
生产进度计划	尽量增大批量,以减少清除废物
	将设备用于单一产品
	变更批量次序以降低清除频率(如由浅浴至深浴次序)
成本会计、费用分配	将空气、地面和水中的全部排放物的直接和间接成本均计入特定的产品加工中去
	将废物处理和处置费用分摊到产生废物的操作中去
	将水、电费摊入规定的产品加工中去
	凡涉及化学性应用或排放的资金和财产购置计划,均须经事先批准

表 17.2 通用工业污染预防核对清单

废物来源	废物类型	污染预防和回收利用方法
材料验收	容器底部	采用“即时”订货制(对原材料采用“即需即订”的办法)
	沉积物	建立集中采购计划
	不合规格	指定专人负责订货、检查、黏土贴标签(注明采购日期、内装何物)和负责发放有
	材料	害物料
		指定专人验收化学样品,并向供货方退回未用的样品
	过剩材料	按确定需要数量订购化学试剂
	泄露残渣	鼓励化学品供货方成为负责的合作者(如接受退还过期的供货)
	泵、阀、	建立库存控制计划、以便自始至终跟踪化学物品
	罐、管道	循环使用库存化学物品
	渗漏物	实行先进先出的物料使用方针
		研究一项由其他部门使用留滞化学物品的流动库存办法
	受损容器	物品验收前,要进行检验/ 试验
		审核物料采购规格说明
	空容器	在容器上注明采购日期,优先使用旧存
		确认库存搁置失效日期
		试验过期物料的有效性
		对稳定的化合物不做库存搁置寿命要求
		定期检查库存物品
		采用计算机输助工厂存货管理制度
		实行定期物料跟踪
		所有容器均应黏土贴标签
		建立管理站以发放化学物品和收集废弃物
		在可能条件下,对泄漏物采用干式代替湿式清除法(如用扫帚而不用软管)
		采购纯净的材料
		为不合规格物料寻找适合的不太重要的用途(否则只能加以处置)

续表

废物来源	废物类型	污染预防和回收利用方法
		成批采购物料,并成批存放
		改用可重复使用的运输集装箱
		改为使用低害原料
		使用同出厂说明书相一致的高性能、耐耗的原材料(如油类)
		减少化学物品不同牌号、等级的数目
		使用一种多功能溶剂或化学清洗剂,而不用多种不同的溶剂
		在可能情况下,采用能提供新物料,也能接受已用过材料进行回收的供货商的供货
		使用可回收的产品
		使用可清洗或可回用的桶容器
		在可能情况下,采用能提供新物料,也能接受已用过材料进行回收的供货商的供货
		使用可回收的产品
		使用可清洗或可回用的桶容器
原材料及产品储存		制定防止、控制和对付泄漏的计划(SPCC)
		带有标记的罐体、容器等只能用于指定目的
		全部罐体、容器均应装置溢流报警器
		保持所有罐体、容器外形完整
		液体储存罐应装置泄漏探测系统
		对所有装、卸、运输作业均应规定书面操作程序
		设置辅助库区
		教育操作人员未经授权不得跨越连锁点、警戒线或重要转运点
		隔离有泄漏或处于非工作状态的设备或生产线
		使用无密封泵
		使用波纹管密封阀
		使用重力塞栓或泵,在运送液体物料时防止泄漏
		转运液体时,使用喷嘴或漏斗
		使用滴漏捕集器
		可能条件下,使用干式泄漏清除法
		记录所有泄漏以供将来采取预防措施
		实验全面物料平衡,并估算物料在数量和金额上的损失
		使用双密封浮顶罐,进行 VOC 的控制
		在固定顶罐体上做保护孔
		应用蒸汽回馏系统(保持蒸汽平衡)
		将产品存放于能保持其搁置寿命的场所或条件下
		保持容器的盖、塞等处的紧密密封(即使是空容器)
		存放容器时,用肉眼观察其有无腐蚀、泄漏
		存放容器时,减少倾斜、穿刺、破裂的机会

续表

废物来源	废物类型	污染预防和回收利用方法
		妥善存放包装物等,防止损坏、污染、保护室外存放物品免受 高温、低温、雨、雪、风等的侵蚀
		防止将桶等搬离垫板而受潮(即所谓水泥地“出汗”)
		建立物料安全资料册,确定泄漏的处理
		存放场地要有充分照明
		保持通道畅通无阻
		性质不相容的化学物品要保持距离
		不同类型的化学物品要保持距离,以防止交互污染
		避免将容器堆靠在加工设备上
		搬运、使用物料时,要遵从制造厂的说明书要求
		电气线路要有妥善绝缘,定期检查腐蚀和潜在的打火可能
		可能条件下,对批量物料的储存,要使用大型容器
		使用高度和直径相等的容器,以减少受潮面积
		塞紧和盖紧容器(不论空、实)
		清洗或处置前,要将桶和容器彻底放空
		碎纸可用作笔记本;回收纸张
实验室	试剂	应用微量或半微量分析技术
		增大使用仪器容积
	不合规格	实验室实验中减少或消除高度有害化学品的使用
	化学药品	重用或回用已用过的溶剂
		从催化剂中回收金属
	样品	作为实验最后一步,处理或销毁有害废弃物
	空样品和	将有害废物流加以分离,将有害与无害废弃物分开,将可回用与不可回用的废
	化学物品	弃物分开
	容器	确保所有化学物品和废弃物在所装容器上清楚地加以标明
		调查研究汞的回收和利用
操作和加	溶剂	提高设备的利用率
工变更		清洗前用橡皮滚子回收产品上的剩余液体
	清洗剂	应用密封式储存和运输系统
		要使液体有足够的排干时间
	脱脂油泥	合理安排设备流水线,减少液体阻塞
	喷沙废物	采用避免或减少使用溶剂的清洗系统,且只在需要时进行清洗
	苛性物	采用两级清洗,或在清洗前先用碎布擦拭污处,以延长溶剂寿命
		采用逆流清洗法
	金属碎屑	采用就地清洗系统
		设备使用后,立即清洗
	油类	重复使用净化后溶剂
		将净化后溶剂再加工为有用产品

续表

废物来源	废物类型	污染预防和回收利用方法
	设备清洗	利用不同类型溶剂分离废弃物
	后的油脂	将溶剂的使用标准化
		用蒸馏法回收溶剂
		合理安排生产以降低清洗频率
		采用样品小型试验,而不是在生产过程中进行
		在调节时采用旁路控制或加压再循环以保持湍流状态
	热交换器	使用光滑的热交换面
	清洗后的	使用“在线”清洗技术
	污泥和废	在可能情况下,使用高压水清洗,以代替化学物质清洗
	酸	使用低压流

表 17.3　化学工业清洁生产核对清单

废物来源	废物类型	污染预防和回收利用方法
材料的购	搁置过期陈	实行“先进先出”的用料原则控制存货
入、储存	旧或受污染	首先对材料进行试验,以决定其是否可用于当前生产
和搬运	的材料	将陈旧材料退还给供货商
		隔离废物流
	反应过的/	包装物品避免日晒雨淋
	聚合过的或	与供应厂家合作或安装提纯设备以提高供料质量
	不合规格的	慎重考虑对新材料的需要(如修改工艺或改进控制,以减少或取消对新材料
	化学品	的需要)
		尽量使用合规格材料
	粉尘排出物	使用阻化剂以防止不良副反应或聚合物的生成
		将粉状产品重新制为粒状产品
	空容器	当冲洗固体搬运设备时,重用惰性组分
		改用可重复使用的容器、装运箱或成批运输
	加(运)油	回收罐车中的物品
	剩余物	使用泵或管道转运液体材料
反应器	不合规格材	通过安装隔板,采用高速搅拌马达,不同搅拌叶片设计、多层轮翼、泵激反复
	料	循环或一台串联固定式搅拌器,来改进反应器中的物理拌合
	副产品	用较好的进料投入,以获得较好的产品产出
		改善反应剂投入反应器的方法(在投入反应器前,先将反应剂充分浓缩)
		改进催化剂,并不断加以提高
		为回用物流,另外设置反应器
		改进反应器的加热和冷却技术
		考虑设计不同的反应器(如用活塞流动代替罐内搅拌混合)
		改进控制,使反应器处于最佳状态。(如经常稳定运行状态,采用先进的计算
		机控制等)

续表

废物来源	废物类型	污染预防和回收利用方法
		保证橡胶垫片无破裂、磨损
热交换器	不合格产品(如对温度敏感的产品)	降低管壁温度 用低压蒸汽流 降低过热蒸汽流 安装热压缩器 采用分级加热(先用余热,次用低压蒸汽流,再用降低高热后的高压蒸汽流) 采用列式清洗技术(循环海绵球和逆反刷) 对黏土性流,可使用内壁经刮擦过的交换器 监控交换器污垢 使用不腐蚀管道
泵		在可能条件下修复密封或购买新泵以继续作业 使用无密封泵(罐型或磁力驱动)
炉子		更换盘管,研究其他设计类型 用中间交换器代替炉子,或使用高温导热液 利用现有的过热蒸汽
蒸馏塔	不纯产品	如塔的容量充足可增大流量比 增加塔身节(如采用不同直径、塔盘或高效密封包层)
	聚合废料	重新做塔盘或重新做密封包层 更换进料塔盘,达到更好的分馏
	管道或漏斗	绝热
	排出物	改进进料分布,对密封包层塔更应如此 预热进料(如与另一束流交叉交换热量) 从塔顶部附近的塔盘中,将塔顶馏出的产品去掉 增大蒸汽管道尺寸 修改再蒸馏锅设计(改为向下流动液膜或泵式再循环蒸馏锅,高通量管道) 降低再蒸馏锅的温度(如使用低压蒸汽、低过热蒸汽、安装热 压缩机、用中间传导液体等) 确保管道无阻塞 降低塔内压力 改进塔顶流出物冷凝器(更换导管、更换冷凝器、增设管口辅 助冷凝器) 将塔顶流出蒸汽引至下一个塔(使用分冷凝器,并将蒸汽流引导至后续加工塔)
管道	泄露或挥发物	更换泄漏的阀、泵和密封件 监控主要管孔(储存罐、罐车)及漏斗系统,回收管孔排出产品(安装冷凝器或管孔压缩机)
	副产品	避免将热物料送去储存 改变冶炼法或使用里衬
	排出物	避免管线过热,缠绕容器或为其加套

续表

废物来源	废物类型	污染预防和回收利用方法
	低等级产品	分离废物并将其回收
产品加工	不合规格产品	按要求或需要的数量生产产品
		使用毒性较小或无毒的原料
		改进联机控制(如采用计算机控制系统)
	受污染产品	优化逐级操作
		自动启动、关闭和进行产品转换
	溢出物	给车间生产编制程序,以处理意外的翻转及跳闸等事故
	排出的粉尘	调整设备位置,改变管道走向布置,以避免其他污染源
	蒸发损失	为废品寻找市场
		安装可重复使用的隔热装置
	质量控制试验样品	重新设计或修改加工工序和工艺,以回收产品和不可利用的原材料
		重新配制产品(如生产颗粒状化学品而不是粉末状化学品,以减少粉尘排出物)
		分离并回用生产过程中产生的粉尘排出物
		将批量生产改为连续生产
		更新催化剂
		审查抽样频率和程序,以减少次数和样品数量
		回用样品
		如反应器圆盘断裂,可考虑分流到中性罐中去
设备清洗和转换	废品	提高设备利用率
		改进使用同一条生产线生产不同化工产品的日程安排
	用过的清洗剂	回收更多的产品(通过刮扫罐体或吹扫管道)
		冲洗转运固体物料的设备,回收惰性沉淀物质
	洗涤液	避免不必要的设备清洗,探讨取消批量间清洗的可行性
		考虑采用其他清洗方法(如塑料介质喷丸等机械清洗法等)
		考虑使用危害较小的清洗剂(如用具有更好生物降解性能的清洗剂的超声波清洗法)
		使所用的清洗产品标准化
		减少清洗剂的使用(如改用高压喷雾、压缩空气流和热清洗浴等)
		在可行条件下,回收并回用清洗剂
		回用清洗水
		在可能条件下,用生产过程中的液体清洗加工设备

(5)可行性分析

对筛选出来的方案进行分析和评估,从中选出最佳的清洁生产方案,重点应在方案的可实施性、技术的先进性、生态系统的相容性和方案实施的经济性 4 个方面,进行分析、比较和评估。

可实施性是指在新方案的指导下,从原料到产品到服务,与市场供需关系。用新方案生产的研究开发周期,产品市场的近期及远期发展变化趋势,与同类产品比

较,本产品的价格性能比的优势,也即市场竞争力或进入市场的能力,这些都反映了方案的实施可能性。为了对方案的可实施性作出评价,必须开展大量的市场调研和收集大量的资料。在此基础上,有可能会发现方案的一些不足之处,应及时作出调整,包括技术方案、生产规模和服务设施等各个方面。

技术的先进与否是直接关系到新方案是否成立的根本问题,也就是说,新方案必须由先进的技术作支撑。技术的先进性,包括采用的工艺流程是否符合清洁生产的原则,操作系统是否合理,技术和设备的成熟程度,整个方案的经济性、可靠性和安全性。

生态系统的相容性就是指环境评估,是衡量方案是否成为清洁生产的重要标准,也是整个方案的核心。清洁生产必须有显著的环境 效益和社会效益,同时也必须产生经济效益。在 21 世纪,环境保护与经济效益是成线性关系的,越是环境保护做得好的工厂企业,越是利润高,效益好。生态系统相容性评价,包括资源循环和能量利用的完善程度,废弃物减量化程度的提高,污染物毒性,原料和产品的毒性降低情况,以及废弃物资源化实施技术的运用百分比。

方案实施的经济性评价是指原料选用的经济性、工艺技术的经济性及产品成本的经济性评价,也就是说,方案实施产生的经济效益。在清洁生产的前提下,选择经济效益最好的方案。

(6)方案实施

将经过严格审计后推荐出来的最佳方案,组织和协调各部门进行具体落实,在方案实施过程中实现技术进步,获得经济效益和社会效益,实现清洁生产。在方案实施的全过程中,更为重要的是通过新旧生产过程的产值、原料消耗、能源节约、污染物控制和排放、生态环境保护以及总利润的增长率对比,可以大大激发工厂企业的领导和广大职工对实施清洁生产的积极性和自觉性。通过审计,也可以发现还存在的问题和不足以及和先进单位的差距,以便在更高层次进一步来实施清洁生产。

(7)清洁生产制度化

通过清洁生产审计,将实施清洁生产的必要措施和条件制度化,确保清洁生产在工厂企业内部能长期、持久地推广应用。为达到此目标,必须做下列四件事:

①建立和完善清洁生产领导班子。

②建立和完善实施清洁绿色生产的目标管理制度。

③制定持续清洁生产的保障机制。

④编制清洁生产审计报告。

整个实施清洁生产工作的流程见图 17. 3。清洁生产的工作程序主要包括准备、审计、方案制定和方案实施 4 个基本阶段,是一套完整、严密的科学方法,它不但能给企业带来显著的经济利润,而且能产生不可估量的环境效益和社会效益。通过清洁生产审计,还能大大提高企业的管理水平,促进企业的技术进步,增强企

业的市场竞争能力。

图 17.3　清洁生产审计流程

第二节 一些和清洁生产相近的术语 (Some Similar Terms)

除去清洁生产之外,还有许多与之概念相近的名词、术语和表达,例如在清洁生产作为比较通用的表达之前,就有废物最少量化、无废少废工艺、清洁工艺、污染预防等提法,还有绿色化学、洁净技术、环境友好技术、零排放以及在清洁生产具有比较确定的意涵之后的生态工业和循环经济等。

这里,大多数的提法或术语与清洁生产相比,其意涵比较相近,但在表达上不如清洁生产表达得完整和准确。这些提法往往在时间上要早于清洁生产概念的提出,其侧重点也大多在于废物的减排和减少对环境的危害。从概念的提出到完善有一个过程,前面所列举的一些术语和提法与清洁生产就有这么一个从前驱递进到成熟表达的演变过程,内涵也更加丰富,更加注重原料和资源消耗的最小化。

至于生态工业和循环经济则更进了一步,根据生态学原理,强调没有废物,都是资源。用一句形象的话,清洁生产是在保护环境的前提下,强调资源和材料"从摇篮到坟墓",而生态工业或循环经济则强调资源和材料应该"从摇篮到摇篮",寿命无穷尽。

下面我们选择几个比较影响大的表达与清洁生产作些进一步的分析比较。

17.2.1 清洁生产与绿色化学(Cleaner Production and Green Chemistry)

清洁生产与绿色化学的关系非常密切,我们首先来看看什么是绿色化学。

1. 绿色化学

随着工业生产技术的发展,随着世界各国对环境问题的日益重视,环境保护、环境治理的力度也越来越大。但是,先发展、后治理的传统方式使环境问题非但没有趋缓,反而越来越严重。人们已认识到,只有从污染的源头杜绝污染的产生,才是主动的、高层次的治本举措。1992 年,里约热内卢会议提出了"绿色科技"的概念,并指出"环境科学家的任务不再局限于环境污染的治理,而是要求对环境污染进行有效控制和对污染的环境进行修复,以及从污染源头开始杜绝环境污染的产生"。

由于"绿色"的概念是一种全新的概念,代表了一种全新的生产模式,因此,至今对它的定义和理解还没有完全统一,出现了各种专业名称,如绿色化学、洁净技术、环境友好技术、零排放等,目前,经过全球科学家近十年的研究和探索,对绿色化学与技术的定义和原理已基本取得共识,一般将化学和化工分为两个方面来表述,但是其基本内涵是一致的。

2. 绿色化学的定义

绿色化学是一种更高层次的化学,是一种哲学思想。绿色化学是一种对环境友好的化学过程,其目标是利用可持续发展的方法来降低维持人类生活水平及科学进步所需化学产品与过程所使用与产生的有害物质。

绿色化学的原则如下:

①提倡在污染源头防止污染产生。

②化学反应的设计应遵循"原子经济性"原则,即使所有的反应物都转化为产物。

③化学反应的原料尽可能采用无毒或低毒物质,并且,这些原料本身的生产也是环境友好的,尽量选用可自然再生的物质作原料。

④化学反应的产物应是无毒和环境友好的。

⑤化学反应所需的溶剂、催化剂和辅助剂都应是无毒物质,而且与环境相容。

⑥能量利用率应达到最高。

⑦化学合成路线尽量选择常温、常压、简单和安全可靠的方法。

3. 绿色化学的一些主要特点

(1)化学反应的原子经济性

化学反应路线的设计,保证了化学反应的原料中每个原子都参与了反应,并全部转变成产物,无副反应发生,无有害物质生成。既充分利用了资源,又不污染环境。

(2)化学反应的清洁性

化学反应的原料,都选用对环境无污染,对人无害的物质。化学反应的媒介、化学反应的技术也是对环境友好的,如采用电子束、离子束、高能射线和超临界物质作反应媒体。化学反应的产物对环境和人类无害,与生态系统相容,是绿色产品。

(3)化学工艺的循环性和闭路性

化学工艺的设计,使原料、副产物、媒介物和能源均处于闭路循环之中,整个工艺流程只有原料和必需的能量输入,产出的是产品,其余的物质和能量在工艺过程的内部进行循环,对环境无影响,或者说对环境做到"零排放"。

(4)化学反应技术的可持续性

采用高新技术,特别是生物技术、基因技术、酶技术来开发新的化学反应和合成新的化合物。

(5)化学生产的可持续性

充分利用自然界可再生的自然资源代替不可再生的资源来作为化学反应的原料;充分利用自然界可再生的能源来代替不可再生的能源。如利用可再生的植物

资源代替矿物资源生产化工原料;利用太阳能、沼气、水能和风能代替石油和煤炭,使化工生产能持续发展。

绿色技术的实施,改变了过去被动的、滞后的污染控制观念和手段,强调在污染产生之前就加强预防、管理和控制并予以清除,即在产品的设计、生产以及服务的全过程中,将污染物的产生和对生态系统的不利影响降低到最小。

4. 绿色化学与能源和材料

绿色化学的一个重要任务是采用绿色技术,将自然界取之不尽、用之不竭的可再生的物质和能源来代替储量有限,渐趋枯竭的不可再生的矿产资源和能源,生产化工原料和化工产品。例如,地球上种类繁多的植物,它们利用太阳能不断地进行光合作用,将水和二氧化碳转化成各种有机物,并放出氧气。目前,地球上的植物大约有 2 亿亿吨,这些植物是可再生的天然资源,每年的再生量约 1640 亿吨,主要是淀粉和植物纤维,它们都是葡萄糖的高聚物,是碳水化合物。植物中也含有少量的蛋白质及含磷、硫、氮等元素的有机化合物。淀粉和低聚糖能被人类消化吸收,是人类的主要粮食来源。

但是,世界上的绝大多数植物由纤维组成,而纤维是不能被人类消化吸收的。植物纤维是一种葡萄糖基的线型大分子,目前,除了造纸和当作燃料外,还远远没有对它加以开发利用。主要困难在于还没有找到一种方便、有效、价廉而且又是绿色的方法,将植物纤维中的纤维素、半纤维素和木质素分开,进而再将它们降解为葡萄糖单体、酒精和其他有机化工原料。可以预言,一旦人类实现了植物纤维转化技术的绿色化,人类就拥有了一座巨大的食物、能源和有机化工原料的仓库,在很大程度上解决了人口和资源的全球性危机。

纵观世界各国的化工生产,真正符合绿色化学要求的几乎没有,大多是属于末端治理性质的污染控制和污染治理,其中比较好的已接近绿色化了。如前所述,化工过程的末端治理是一种低层次的行为,耗资巨大,负担很重,但对保护环境起到了至关重要的作用。据资料称,美国在 1990 年用于“三废”治理的费用高达 1200 亿美元,占 GDP 的 2.8%。1998 年,我国用于“三废”治理的投入也达到了 3700 亿人民币。由此可见,绿色化学技术的实施,不但可以大大降低末端治理的负担,而且可以节约大量资金,不但具有社会效益,而且具有巨大的经济效益。绿色化学已经成为提高工厂企业的生产效率和经济效益,进一步提高企业市场竞争力的有效手段。

17.2.2 清洁生产和绿色化学之比较(Comparison between Cleaner Production and Green Chemistry)

清洁生产的目标是确立“原料—工业生产—产品使用—废品回收—二次资源”

这种仿生态系统的全过程控制新模式。

清洁生产的原则如下:

①采用清洁能源,大力开发可再生能源,提高能源利用率。

②尽量提高原材料的转化率和选择性,充分、合理地利用物质资源,尽量采用可再生资源。

③废弃物最小化,即最大限度地削减有害物质的产生量和排放量。

④污染源头预防,也就是说将污染消灭在产生污染的地方。

⑤无害化工艺,即实施生产全过程控制,形成能量和物质的闭路循环,充分利用资源和能源,整个过程只有原料和能量的输入和产品的输出,对环境没有污染。

⑥环境相容,即原料和产品与环境相容,对生态系统的平衡没有不良影响。

近年来,要求实施清洁生产呼声最高的是化学工业,据美国 Toxics Release Inventory 在 1994 年发表的统计结果,世界上排放废弃物最多的十类工业中,化学工业名列榜首,而且化学工业每年排放的废弃物是其余九个工业行业的总和。化学工业是基础工业,已渗透到各行各业,特别是高新技术的发展,依赖于化学工业的发展,但是化学工业也给人类赖以生存的生态环境带来了严重的破坏。

为了彻底改变化学工业对环境造成的污染,必须彻底改变“先生产,后治理”的传统观念,代之以可持续发展的新理念。为此,在 1996 年,美国设立“总统绿色化学挑战奖”,以表彰在绿色化学与技术研究领域取得卓越成就的美国环境科学家。1998 年,美国成立绿色化学研究所,专门从事化学工业绿色化的研究。1992 年以来,有关绿色化学与技术的国际会议召开了近 20 次。1998 年,我国主持召开了第一届国际绿色化学高级研讨会,以后每年举行 1 次。化学工业是目前城市生态环境最大的破坏因素,必须实施绿色化学工艺才能彻底改变传统化学工业对环境的污染,形成清洁生产。而要形成化学工业的清洁生产,其关键在于研究和开发“绿色化学工艺”,“绿色化学工艺”的核心则是构筑能量和物质的闭路循环。可以这么说,如果把化学工艺的绿色化看成是一门科学或技术的话,那么不如把它看作是一门高超的科学艺术更为确切。因为,只有深刻理解和熟练掌握了有关化学化工各领域的知识,并做到融会贯通和灵活运用,才有可能创造出“绿色化学工艺”这门艺术。

根据上述比较,我们可以看出:清洁生产和绿色化学的精神和内涵是有很多相通的,甚至是很一致的,比如说尽量少用有毒有害原料,从源头上控制污染的产生,节约原材料和能源。有人说,清洁生产就是采用绿色化学的思想和技术,或者说把传统的化学生产绿色化。

但是不同也是显而易见的:清洁生产着眼于整个工业生产,而绿色化学,顾名思义,则仅局限于化学或化工生产的绿色化。

17.2.3 清洁生产与工业生态学(Cleaner Production and Industrial Ecology)

人类社会进入工业文明后,建立了以人类为中心的社会经济体系,工业系统则是其主要的子系统,它在传统的经济发展中起着举足轻重的作用。随着工业的不断发展,工业系统在满足人类社会经济和生活需求的同时,其全部活动对区域甚至全球自然环境产生越来越大的影响。面对工业系统与自然生态系统的固有矛盾及对环境造成的危害,如何系统、整体地协调工业系统与自然环境的相互关系,使人类社会发展的需求与自然生态系统的发展达到动态平衡,人们一直在寻找可行的理论与解决方法,工业生态学就是在这一背景下诞生的。

1. 工业生态学的形成与发展

近 20 年来,工业生态学经历了萌发、诞生和蓬勃发展等几个阶段。

(1)萌发阶段

20 世纪 50～60 年代,生态学蓬勃发展,人们产生了能否模仿自然生态系统,按照其物质循环和能量流动的规律重构工业系统的想法。20 世纪 60 年代末,日本政府通产省的工业机构咨询委员会开展了前瞻性研究,其下属的工业——生态工作小组通过研究,提出了应以生态学的观点重新审视现有的工业体系和应在“生态环境”中发展经济的观念,1972 年 5 月,该小组发表了题为“工业生态学:生态学引入工业政策的引论”的报告。1983 年,比利时的政治研究与信息中心出版了《比利时生态系统:工业生态学研究》专著,书中反映了 6 位学者(生物学家,化学家,经济学家等)对工业系统存在问题的思考。他们认为,工业社会是一个由生产力、流通与消费、它所用的原料与能源以及所生产废料等构成的生态系统,可运用生态学的理论与方法来研究现代工业社会运行机制。这一阶段被认为是工业生态学的萌发阶段。

(2)工业生态学的诞生

1989 年 9 月,Frosch 和 Gallopoulos 发表题为《制造业的战略》一文,提出了工业生态学的概念,认为工业系统应向自然生态系统学习,并可以建立类似于自然生态系统的工业生态系统。在这样的系统中,每个工业企业必须与其他工业企业相互依存、相互联系,从而构成一个复合的大系统,以便运用一体化的生产方式来代替过去简单化的传统生产方式,减少工业对环境的影响。

(3)蓬勃发展的阶段

20 世纪 90 年代以来,工业生态学的理论研究与实践进入蓬勃发展的崭新阶段,主要表现在以下诸多方面:

90 年代初,美国科学院举行多次会议,对工业生态学的概念、内容、方法和应用前景等问题进行了研讨,形成了工业生态学的基本框架。

美国电信企业 AT & T 的官员 Allenby,于 1992 年首次完成了工业生态学博士论文的答辩。

1993 年,清洁生产杂志(Journal of Cleaner Production, J. Cleaner Prod.)出版,该杂志经常刊发有关工业生态学研究的文章。

1993 年 6 月 29 日,美国成立了可持续发展总统委员会(President's Council on Sustainable Development, PCSD)。该委员会 1996 年 10 月 17～18 日在 Virginia 召开了有关工业生态学的重要研究领域-生态工业园(Eco-Industrial Park)的工作会议,对生态工业园的定义、建设原则、美国生态工业园实践的情况作了研讨。

1996 年,全球发行的生命周期评价杂志(The International Journal of Life Cycle Assessment, Int. J. LCA)面市,它专门刊载工业生态学研究内容之一的生命周期评价的研究论文。

1997 年,麻省理工学院出版了全球第一份《工业生态学杂志》(Journal of Industrial Ecology),专门发表工业生态学的研究论文。

1997 年,美国 Environmental Science and Technology 杂志发表了"21 世纪研究的优先领域"专题报告,介绍了今后 20 年需要加强关注的六个优先领域:经济与风险评估,环境监测与生态学,环境中的化学品,能源系统,工业生态学,人口。

1998 年 11 月,美国矿产资源局(USGS)在 Virginia 举行了"关于科学、可持续能力和天然资源管理:USGS 物质与能量流动研究"专题工作会,与会者就工业生态学、物质与能量流动进行了研讨,认为物质与能量流动的研究对于正在形成的工业生态学领域的研究具有重要的意义。

2000 年,成立于 1996 年的美国跨部门工作小组发表了题为"工业生态学 - 美国的物质与能量的流动"的报告,对工业生态学和物质与能量流动的关系作了阐明。

2000 年在世界范围内成立了工业生态学国际学会(The International Society for Industrial Ecology)。

目前在欧美三十来所大学内设有工业生态学的课程。近年来,冠以工业生态学的研究文章、专著不断涌现,有关工业生态学的网站不胜枚举。

工业生态学的理论研究与实践在国外正在蓬勃开展,一门新兴的学科正在形成。

2　工业生态学的定义

何谓工业生态学?目前尚未有统一的定义,不同的学者对其表述各有不同,1995 年,加拿大的 Cote 曾对工业生态学的定义作了统计,共有 20 多种。较为有代表性的主要有以下三种观点:

《工业生态学杂志》认为:工业生态学是迅速发展的一个领域,它从局地、区域

和全球三个层次上系统研究产品、工艺、产业部门和经济部门中的物质与能量的使用和流动,它集中研究工业在降低产品生命周期的环境压力方面的潜在作用,产品生命周期包括原材料采掘、产品制造、产品使用和废弃物管理。

美国跨部门工作组的报告认为:工业生态学这一术语把工业和生态学两个熟悉的词结合为一新的概念,它研究在工业、服务及使用部门中原料与能源流动及其这些流动对环境的影响。它阐明工业过程如何与生态系统中天然过程发生相互作用。自然生态系统发生的物质和能源使用及其循环的重建指出了可持续工业生态学的道路。工业生态学提供了一个研究技术、效率、资源的供应、环境质量、有毒废弃物以及重复利用诸多方面互相关联的框架。

2000 年成立的工业生态学国际学会(The International Society for Industrial Ecology)认为: 工业生态学提供了一个强有力的多视角工具,通过它,可审视工业和技术的影响及其在社会和经济中相关的变化。工业生态学是一正在形成的领域,它研究产品、过程、工业部门和经济活动中的原料和能源在局地、区域和全球范围的使用与流动。它关注工业通过产品生命周期及与之相关的问题在减少环境负荷方面的潜在作用。

概而言之,工业生态学认为工业系统既是人类社会系统的一个子系统,也是自然生态系统的一个子系统,是人类社会与自然生态系统相互作用最为强烈的一个子系统,其与自然生态系统的关系处理得好坏是人类社会可持续发展的核心问题。工业生态学抓住这一核心问题,从不同的视角,以工业系统中的产品与服务为重点,采用定量的方法,分析、研究工业系统的全部运行过程(包括原材料采掘、原材料生产,产品制造,产品使用,产品的回用,产品最终处置)对自然环境造成的影响,从而找出减少这些影响的办法。

工业生态学是一门新兴、蓬勃发展的综合、交叉学科,是一门研究人类工业系统和自然环境之间的相互作用、相互关系的学科,工业生态学为研究人类工业社会与自然环境的协调发展提供了一种全新的理论框架,为协调各学科与社会各部门共同解决工业系统与自然生态系统之间的问题提供了具体、可供操作的方法,为可持续发展的理论奠定了厚实的基础。工业生态学追求的是人类社会和自然生态系统的和谐发展,寻求经济效益、生态效益和社会效益的统一,最终实现人类社会的可持续发展。

3. 工业生态学研究的主要领域及其内容

20 世纪 80 年代末以来,学术界、工业界开始从不同角度开展工业生态学的理论研究与实践,逐步形成了工业生态学研究的特点和主要研究内容。然而,工业生态学毕竟是一门年轻、正在蓬勃发展的新学科,其理论、研究内容将随着研究的深入和实践的扩展而不断完善。

工业生态学的研究领域与内容相当广泛,这些领域主要有:

工业系统与自然生态系统关系的理论研究,原料与能量流动分析(material and energy flows analysis),物质减量化和脱碳(dematerialization and decarbonization),生命周期评价(life cycle assessment),为环境设计(design for the environment),延伸生产者的责任(extended producer responsibility),产品导向的环境政策(product-oriented environmental policy),生态效益(eco-efficiency),生态工业园(eco-industrial parks),技术变革与环境(technological change and the environment)。下面一一简述之。

(1)工业系统与自然生态系统关系的理论研究

工业生态学不把工业体系看作是与生物圈相对立的体系,而是将其视为生态系统的一个特殊子系统。工业生态学认为,工业革命以来发展起来工业系统,在很大的程度上属于一级生态系统的范畴,还是一个年轻的生态体系,从理论和方法上研究如何促使其向高级生态系统进化,从而与整个自然生态系统保持和谐的发展。

(2)原料与能量流动分析

20 世纪 80 年代之前,人们对工业系统产生污染的研究与控制过于集中于点源。之后,人们认识到污染不仅是点源,还有分散、复杂的非点源问题,它涉及工业活动的物质与能量消耗。物质与能量流动研究的主要观点是:与生物的物质和能量的代谢以及生态系统的物质与能量流动相类似,现代工业生产是一个将原料、能源转化为产品和废物的代谢和流动过程,这一过程对自然环境必然产生影响,影响的强度取决于物质与能量使用的强度。它研究工业系统、区域和全球原料与能量流向量化的理论与方法,研究这些流动对自然生态系统的影响,研究减少这些影响的理论、方法与技术。目前,原料与能量流动和工业代谢(industrial metablism)两个术语都在使用。

(3)物质减量化和脱碳

在经济系统中物质消耗的研究已经有很长的历史,“dematerialization”则是新出现的术语,有的译为‘非物质化’,我们这里采用‘物质减量化’。物质减量化研究工作的开展,对于人们认识经济发展和环境之间的关系是一个重要的思路:如果人类在世界人口迅速增长的情况下,既想享有高水平的生活,又想把对环境的影响降低到最小限度,那么只有在同样多的、甚至更少的物质基础上获得更多的产品与服务。

物质减量化和脱碳有不同的定义,一般而言,它指的是在单位经济输出中,绝对或相对减少所消耗的物质的量或者所产生废物的量。

(4)生命周期评价

生命周期评价是一种面向产品的方法,它评价产品、工艺或活动,从原材料采集,到产品生产、运输、销售、使用、回用、维护和最终处置整个生命周期(即从“摇

篮”到“坟墓”)阶段的所有环境负荷。它辨识和量化产品整个生命周期中能量和物质的消耗以及环境释放,评价这些消耗和释放对环境的影响,最后提出减少这些影响的措施。生命周期评价的基本结构可归纳为四个有机联系部分:定义目标与确定范围;清单分析(inventory analysis);影响评价(impact assessment)和改善评价(improvement assessment)。

(5)为环境设计

它是一种产品设计的新理念,在 20 世纪 90 年代初提出。目前,在国外有两个差别很小的术语:为环境设计(design for the environment, DFE)和生命周期设计(life cycle design)。它们都要求在产品开发的设计阶段,就应考虑生态要求和经济要求之间的平衡,应考虑所设计产品可能对环境造成影响的问题,以便在整个生命周期内生产对环境影响最小的产品,其最终目标是建立可持续产品的生产与消费体系。

(6)延伸生产者的责任

延伸生产者的责任是一种环境保护的原则,它通过促使生产者对其产品的整个生命周期特别是产品的回收、循环利用和最终处置承担责任,从而降低产品总体的环境影响。最终目的是通过开发环境责任产品和产品的回收利用达到可持续发展。

(7)产品导向的环境政策

工业产品的整个生命周期都会对环境产生不同程度的影响,控制工业产品对环境的影响要考虑其整个生命周期。产品导向的环境政策认为:产品的环境责任人不仅仅是生产者,产品设计者、产品分配者以及废弃产品的回收处理者,也都是产品整个生命周期过程的参与者,他们应该承担保护环境的相应的责任,都应该是产品的环境负责人。要从根本上控制环境污染就必须使与产品整个生命周期的各个阶段相关的责任人共同努力,协调这些产品的环境负责人各自的责任,以及通过法律、法规、各种规章制度检测、保证甚至强制产品的环境责任人责任的实施,则要通过政府权威的力量,通过制定相应的国家政策来实现,这也就是产品导向的环境政策的涵义。

(8)生态效益

1992 年,世界环境与发展大会于巴西的里约热内卢召开时,可持续发展工商理事会提出一份代表企业界意见的报告书:《改变过程》(Changing Course),“生态效益”一词正式在该报告书中提出。报告认为有生态效益的公司是“增加更多价值的同时不断地减少资源消耗和污染”的公司。

可持续发展工商理事会于 1993 年 11 月在比利时的安特卫普(Antwerp)召开会议,会上通过了对于“生态效益”的正式定义,即:生态效益的实现,必须在提供具有竞争力价格的产品和服务、满足人们需求和提高生活品质的同时,在产品和服务

的整个生命周期内逐步将其对环境的影响及自然资源的消耗减少到地球承载力能负荷的程度。

(9)生态工业园

生态工业园发展的雏形是丹麦的卡隆堡(Kalundborg)工业共生体(industrial symbiosis)。生态工业园的定义目前尚未统一,有两个稍有不同的定义:生态工业园是一个市场共同体,园区内的企业相互合作,并有效地分享资源(信息,原料,水,能源,基础设施和自然环境),从而导致经济的增加,环境质量的改善,使市场和区域共同体发展所需资源合理增加;生态工业园是一个计划好的原材料和能源交换的工业体系,它寻求能源、原材料使用以及废物的最小化,并建立可持续的经济、生态和社会的关系。

(10)技术变革与环境

这一领域研究、发展促进工业体系进化的科学理论、方法与技术。使工业系统能够像自然生态系统那样维持循环运行。另一方面则研究创新技术在工业部门应用时遇到的障碍与解决方法。

4　工业生态学研究的特点

从上面的简要介绍可以看出,由于工业生态学研究的对象是一个复杂的大系统,为了解决其中的问题,必须从不同的角度,采用不同的方法开展研究。所以,工业生态学研究的一个明显的特征是研究领域广阔,在研究与发展的过程中,逐步建立了基本的理论框架,形成了自身的特点,主要表现在以下几个方面。

(1)以系统论的观点观察和解决问题

首先,工业生态学把工业系统视为自然生态系统的一个子系统,一个处于低级进化阶段的子系统。它采用系统分析的方法,研究工业系统与自然生态系统的相互作用与关系,研究如何促进工业生态系统向高级生态系统进化,使其与自然生态系统协调发展。其次,工业生态学认为,工业系统还是处于自然生态系统内的人类社会-经济系统中的一个子系统,工业生态学强调,要解决工业系统与自然环境系统之间的冲突,既要了解工业系统与自然生态系统之间的矛盾,还必须解决它与社会-经济系统及其他子系统之间存在的各种问题。因此,必须采用复杂系统科学的综合、集成的研究方法,才能深入地认识它们之间的关系与存在的问题,从而提出解决问题的方法。另外,工业生态学还强调研究问题的全球系统观,不仅要考虑与解决人类工业活动对局地、区域的环境影响,而且要着眼于考虑与解决对地球生命支持系统的影响。

(2)多学科交叉与融合

工业生态学研究的对象是自然生态系统和人类的社会-经济系统及其之间的关系,所涉及的问题极为复杂,既有自然科学的问题,也有工程技术学科的问题,还

有人文与社会科学的问题。因此,工业生态学的研究已经超越了学科的界限,在近20年间,首先是自然科学、技术科学、人文及社会科学等的介入,进行多学科交叉研究,随着研究的不断深入与复杂,必将逐步融合形成一门崭新的学科。

(3)以工业产品和服务为核心开展研究

工业生态学认为,在某种意义上说,工业系统就是向社会-经济系统提供产品和服务的子系统。通过产品的整个运动过程(包括原材料采掘、原材料生产,产品制造,产品使用,产品的回用,产品最终处置),工业系统与自然生态系统发生物质与能量的交换,从而产生影响。因此,当前工业生态学的研究内容,可以说都是围绕产品的整个运动过程开展的,例如原料与能量流动的分析,产品生命周期设计与生命周期评价,为环境设计,产品导向的环境政策等等。

(4)采用定量分析的方法

这是工业生态学的一个较为突出的特点。工业生态学的研究强调,必须超越以往描述性的分析,或借用其他学科的定量分析工具,或建立新的定量分析方法,研究、分析工业系统对环境的影响,给出量化的结果。目前,工业生态学在定量分析方法的研究已经取得了长足的进展。

(5)可操作性强

工业生态学建立的方法具有很强的可操作性,例如产品的生命周期评价、生态效益等。

(6)富有挑战性

经过十多年的工作,初步建立了研究的理论框架,提出了一些研究方法。然而,工业生态学研究的对象是一个复杂的大系统,还有更多的领域、问题有待人们去探索与解决。

5. 工业生态学研究的意义

开展工业生态学研究,具有十分重大的意义,主要体现在以下几个方面。

(1)可从根本上解决工业系统与自然生态系统冲突的问题

工业生态学把工业体系看作是属于自然生态系统之中的一个尚处于低级发展阶段的子系统,从理论上研究如何促使其向高级生态系统进化,从而与整个自然生态系统保持和谐的发展。因此,工业生态学涉及的是工业体系长期发展的根本问题,而不仅仅是环境问题。这样就为从根本上解决工业系统与自然生态系统之间发生的矛盾提供了理论基础,同时也给可持续发展理论的发展提供了厚实的基础。

(2)对其他学科将产生重大影响

工业生态学以崭新的思维,提出了目前所需研究的理论与方法方面诸多问题,它们都涉及可持续发展的重大问题,涉及各门学科,需要各学科的研究人员去研究与充实,随着研究的深入,必将对环境科学、工程技术、经济学、管理学、法律等诸多

学科产生深远的影响。随着工业生态学研究的深入发展,将出现一批新行业的专家——生态工业园设计师、物质与能量流动分析家、物质减量化专家、工业营养专家等等。

(3)为提高企业竞争力提供了强有力的解决方案

工业生态学借助于复杂科学的理论和对生态系统的认知,找到能使工业系统与自然生态体系"正常"运行相互匹配的革新途径,从产品的整个生命周期考虑,优化的物质和能量的流动,提倡全面的、一体化的观念,解决企业生态效益等等。所有这些,工业生态学为企业全面解决资源的充分利用、污染控制的同时提高企业的竞争力,提供了理论方法和实际策略。

6. 生态效益

20 世纪 90 年代以来,"可持续发展"已成为国际社会共同追求的发展目标。可持续发展的实现需要社会各方面的共同努力,包括理论的勇于探索,科学技术的不断革新与创新;政策、法律日益的完善,社会各部门的协同工作,每一个经济实体的参与与实践,以及每一个公民的积极参与等。

现代工业系统对于社会经济乃至人类社会的可持续发展起着举足轻重的作用,它与自然生态系统的矛盾是可持续发展必须解决的核心问题。每一个工业企业是构成这一系统的细胞,如何解决它对自然生态系统的冲击则成为人们关注的焦点,是各国领导人、经济学家、环境学家和企业领导人共同关心的问题。20 世纪 90 年代初,可持续发展工商理事会(Business Council for Sustainable Development, BCSD)提出了生态效益(eco-efficiency)这一概念,为企业找到了一种改善经济和环境行为的可能,成为企业追求可持续发展的理想切入点。

生态效益的目的是鼓励企业在提高经济效益、提供更具有竞争力和创新能力的同时,也能更多地负起保护环境的责任。生态效益作为一种全新的经营管理哲学,是推动企业迈向可持续续发展的基本理论,十多年来发展迅速,相关的观点、做法、工具等正在逐步完善与推广。在联合国环境署(UNEP)和世界可持续发展工商业理事会(World Business Council for Sustainable Development, WBCSD,前身为 BCSD)推动下,遍布全球 33 个国家的数百家跨国企业开始采纳与实施"生态效益"计划。生态效益是工业生态学的一个重要研究领域与组成部分,也是工业生态学的主要追求目标和集中表现。经过 10 多年的努力和实践,"生态效益"的理论和体系逐渐成熟,已经成为国际环境管理的新潮流。

7. 生态效益的定义

不同的人对生态效益有着不同的认识,他们从各自立场出发,来阐述对生态效益的理解。主要有以下几种观点:

①《改变过程》一书中称生态效益型的公司是“创造更多有用的产品和服务的公司”,换句话说,是指在他们“增加更多价值的同时不断地减少资源消耗和污染”。

②许多跨国企业领导人,不论是否在世界可持续发展工商理事会之内,经常用“以更少的环境冲击创造更多价值”或者“以少产多”来表达生态效益这一概念。

③学院派的专家和专业人员称生态效益为“经济和环境效益并行的综合”。

④经济合作与发展组织(OECD)称“生态效益”中的“效益”是满足人类需要的生态资源,并定义“生态效益”为产出(由一个公司,部门或经济整体生产的产品和服务的价值)与输入(这家公司、这部门或经济整体产生的环境压力的总和)之比。

⑤欧洲环境署拟用生态效益指标对在宏观水平上的可持持续发展进程进行量化,定义生态效益为“从更少自然中获得更多利益,并且在经济发展时考虑资源使用加污染物释放”。

⑥美国科罗拉多大学则认为资源生产力与生态效益为同义词,该定义主要从“以少产多”或“以少做多”观点出发,若产业在产品生产或提供服务之生命周期中,可提升资源生产力减少资源的使用,产业便可至少以“四的倍数——资源减半、利润加倍”的方式提升生态效益。

可持续发展工商理事会于 1993 年 11 月在比利时的安特卫普及 1995 年在美国华盛顿特区召开会议,对于“生态效益”的定义进行了讨论。目前世界各国比较公认的定义为:生态效益的实现,必须在提供具有竞争力价格的产品和服务,满足人们需求和提高生活品质的同时,在产品和服务的整个生命周期内逐步将其对环境的影响及自然资源的消耗减少到地球承载力能负荷的程度。

从一般意义上讲,生态效益的定义重点强调是着重服务、关注环境、考虑产品的生命周期、重视环境承载力,以下从四个方面来表达生态效益所要表达的信息:

①鼓励企业努力提供具有竞争力价格的产品和服务。这里说的具备竞争力的价格是指提供这些服务的企业能够以较低的成本实现最好的产品质量。传统的企业成本通常由“劳动力成本 + 原材料成本 + 管理成本”组成,而追求生态效益的企业成本则应由“资源成本 + 劳动力成本 + 原材料成本 + 管理成本”组成,将资源直接纳入生产成本当中。因此,竞争性的价格应该是在努力降低资源消耗的基础上实现的。对消费者而言,强调的更多的是服务成本。

②产品和服务应以满足人们需求和提高生活品质为目的。我们知道,工商企业是以提供产品和服务来满足人类需要为目的的,有责任心的企业应该在考虑改善人们的生活条件和水平的同时考虑如何实现人类的可持续发展。具备竞争力价格的产品和服务不应以牺牲其基本功能为代价,但提供给消费者的产品或服务应尽量以他们实际需要的功能为主,努力做到使消费者在享受同样的产品或服务时消耗最小的资源和原材料。

③逐渐降低产品和服务的整个生命周期内其对环境的影响及自然资源的消

耗。实现生态效益是一个逐渐改善产品的设计和生产工艺,使之对环境更加友善的过程。这里重点体现的是对整个产品生命周期全过程的观点,不仅制造、使用要考虑环境影响及资源消耗,而且整个生命周期包括资源开采、运输、制造、销售、使用、回收、分解处置、再利用等全部过程都要考虑。这就对企业的产品设计的绿色化,提出了很高的要求,鼓励企业推行为环境而设计。

④环境负荷的底线是地球的资源承载力和维持基本的生态平衡:地球的承载能力是有限的,我们不可能无限制进行开发、开采资源。因此,努力减少资源的使用;尽量利用可再生的资源,使地球上资源的再生量能尽量满足人类基本的生活需求,最终实现可持续发展。

8. 生态效益与清洁生产

虽然生态效益的发展较清洁生产晚了数年,但在 WBCSD 与联合国相关组织的大力推动下,目前"生态效益"一词几乎已与可持续发展及清洁生产等名词相提并论,最先提出清洁生产观念的联合国环境规划署(UNEP),现已经将生态效益一词,直接纳入其最新修订的清洁生产的定义之中。目前 WBCSD 会员中的大型跨国企业均不遗余力地推行生态效益,并作为公司管理及行销的要素。这些均显示生态效益的发展,已是一个不可忽视的国际趋势。

从生态效益与清洁生产均被跨国公司及联合国正式认同为产业迈向可持续续发展的必由之路,全球引发了许多新的创意及争议对于企业与政府如何迈向可持续发展,有相当的帮助。从图 17.4(来源:UNEP)中可以知道生态效益及清洁生产在政府及企业迈向可持续发展之路的位置,图 17.5(来源:UNEP)则为生态效益及清洁生产在整个可持续发展战略及不同阶段过程中,与其他问题的关系。

生态效益和清洁生产的共同点如下。

图 17.4　可持续发展与生态效益及清洁生产的关系

图 17.5 环境管理体系与可持续发展

(1)目标一致

清洁生产、生态效益通过经济增长、环境改良共同行为来把经济优势和环境优势联系起来,共同支持可持续发展目标。WBCSD 与 UNEP 于 1996 年 4 月在纽约举行的联合国可持续发展委员会(UNCSD)年会发表一篇合著的文章《生态效益与清洁生产:迈向可持续的过程》中,提到这两个概念其实是另外一个宏观目标的综合,亦即涵盖了全部的商业系统及其相互之间的关系,这个宏观的目标即是"可持续生产及消费",见图 17.6 (来源:UNEP)。

图 17.6 可持续生产及消费

(2)概念相互渗透

因为这两个互补概念的开启,是对可持续发展需要的实质性支持。他们都能帮助企业进行连续不断的降低资源消耗,减小环境负担和减少伴随风险和债务。

生态效益除资源消费和污染减轻以外,强调为商业和社会尽量创造价值,同时考虑到竞争的需要。因为它使产品和服务增值,企业将充分重视资源生产力,获得最大的利益,并且回报股东,而非简单地缩小废料和污染。

(3)共享工具和手段

生态效益包含了许多清洁生产的理念,诸如有效使用原料、污染预防、减少污染源、减废、原料内部回收及再使用等。其也采用清洁生产以生产过程中污染预防来取代末端处置;其也引进了许多环境管理工具,诸如在研究工艺、减料及节能工作中,采用环境评估及为环境而设计概念或方法。生态效益也应用生命周期的观点、环境评价或为环境设计,包括他们为在产品的减少原料和能量密集度的技术选择之中,而且促进通过再制造和再循环重复使用。

“生态效益”与“清洁生产”二者,基本上其中心思想与主要做法颇为类似,但是还是有其各自的特点,存在一些区别:

①发起的组织不同。生态效益由企业所发起,清洁生产则由官方所发起。

②着手的议题不同。生态效益系从具有经济效益的议题着手,而这些议题对环境也有正面利益;清洁生产则从具有环境效益的议题着手,而这些议题对经济也有正面利益。

③侧重点不同。生态效益的主要重心为以“以少生多”及资源生产力的概念为基础,鼓励企业更具有竞争力,并极力主张日渐崛起的为环境而设计概念,同时也注重生命周期的观点。清洁生产的重点则在工艺改善和降低废弃物产生、废气及废水排放的范畴。

④应用的出发点不同。“生态效益”强调经济上的效率,而同时能够产生环境利益;“清洁生产”则以环境效率为出发点,希望同时能带来经济利益。以环境与经济系统的观点来看;假设二者均希望将利益最大化,但必须受限于若干条件,如法规、企业资本、环境容量等等。“生态效益”的利益最大化问题是:以经济利益为目标,以环境条件为限制。而“清洁生产”的利益最大化问题则是:以环境利益为目标,以经济条件为限制,见表 17.4。

表 17.4　生态效益与清洁生产的关系

项目	生态效益	清洁生产
最大化	经济利益	环境利益
受限于	环境限制	经济限制
	其他限制	其他限制

⑤应用的范畴不同。生态效益的应用对象,包括政府、企业、个人及所有利益相关者,特别是金融业与投资人的角色。清洁生产则着重产业界在工艺及提供产品与服务的角色。

表 17.5 从起源、定义、内容、功能及总结等各方面,来比较两者的差异。

表 17.5 清洁生产与生态效益的比较

项目	清洁生产	生态效益
发起	依联合国环境规划署(UNEP)管理委员会于1989年之决定,UNEP的工业与环境中心(UNEPIE)开始了清洁生产计划	1992年由瑞士的工业专家Stephan Schmidheiny在其由BCSD所出版的著作“改变过程”(Changing Course)中所提出
定义	清洁生产是将整体预防的环境战略持续应用于生产过程、产品和职务中,以增加生态效益和减少人类及环境的风险	生态效益的实现,必须在提供具有竞争力价格的产品和服务、满足人们需求和提高生活品质的同时,在产品和服务的整个生命周期内逐步将其对环境的影响及自然资源的消耗减少到地球承载力能负荷的程度
重点	偏重于污染原因的解决,而不偏重于末端效应,是一种对企业与环境都有益的观点,相对于事后清除处理的成本支出,污染预防是一种会有回收的投资	发展策略与实务能兼顾经济与生态两方面效益。主要核心为以“以少产多”及资源生产力的理念为基础,鼓励企业更具有竞争力,并极力主张日渐崛起的“为环境而设计”概念,同时也注重“生命周期”的观点
内容	对生产过程,清洁生产要求节约原材料和能源。淘汰有毒原材料,减少降低所有废弃物的数量和毒性 对产品,则要求减少从原材料提炼到产品最终处置的全生命周期的不利影响 对服务,要求将环境因素纳入设计和所提供的服务中	WBCSD认定生态效益的7点要素:1. 减少商品和服务的原料密度;2. 减少商品和服务的能源密度;3. 减少有毒物的扩散;4. 提高原料的可回收性;5. 使可更新的资源达到最大限度的永续使用;6. 延长产品的耐久性;7. 增加商品和服务的服务强度
功能	应用清洁生产方法的经验显示,仅少量花费,即可在工艺上有大幅改善,不仅提高公司利润,也改善环境绩效	生态效益在整个供给链均可发挥功能,包括消费者在内。提供可让消费者在使用时减少资源耗用及对环境之冲击的产品与服务,不仅可满足消费者需求,也可取得较好的价格,企业将可从此具体获益
条件	清洁生产需要改变态度,采用尽责的环境管理,并评估替代的技术方案	要实现生态效益,需要企业界的创造力,研发新科技、引发整体价值链的改造
结论	清洁生产是一种制造产品及提供服务的有效方法,可削减废弃物和废气排放的成本,降低负面环境冲击的法律责任,且可以开创新市场	生态效益是21世纪企业经营的关键,因为其协助企业以更少的资源,提供更好的产品与服务,产生更低的环境冲击,并进而改善环境绩效与盈余

9. 生态效益的应用前景

如果企业界不断同时改进其经济与环境方面的表现、以少产多、增加产品的附

加价值,不仅可符合生态效益,也会因持续的减少污染与资源的消耗,生产更有用的产品和服务,更能够获市场认同,掌握新商机、取得报偿和市场上的利益。对企业而言,这是不能避免的挑战。由于在初期摸索的过程中,企业可能会因未能事先准备应对市场中对于环境绩效的要求而造成损失的经验,企业在态度与做法上必然更加积极主动,以避免将来遭受更大的损失。

有了生态效益,企业可持续发展不再只是口号,或企业形象的宣传,它已成为一种指导企业管理的哲学思想。对企业而言,它既是一种管理方法,使公司在国际竞争的局势中稳占优势,也是一种社会责任与使命。各国企业协会或工业协会,也在积极地推动企业对生态效益的认识,此将成为一股全球企业新环境观的风潮,对改变企业、产业革新、势必产生深远的影响。因为上述的趋势,使得生态效益的概念,已从企业界扩展到金融界,甚至政府部门。金融业、企业领袖、政府和其他利益相关者已逐渐认知到,必须从盈余的角度来量化环境绩效。企业界现在必须用投资人、分析家、银行业、保险公司、会计师和评等师所能理解的方式,来说明其环境绩效。

我国虽然在工业污染治理方面取得了很大的成绩,而且目前正在积极推动ISO 14000、清洁生产及可持续产业等多项工作,但是对"生态效益"这一新概念认识不多。其实,目前国际上流行的环境管理战略,其概念虽然是大同小异,但每一战略所侧重的重点均不同。我国正处在经济高速发展之际,政府与企业面对新世纪的挑战,应有更开阔的视野和更积极的做法。有竞争当然就有淘汰,我们应有一个认识,那就是"生态效益"既不是完全创新、也不是深奥的理念,但未来数十年却将会是一种赶不上就会被淘汰的社会。建议政府部门应特别关注生态效益的发展,以确实掌握国际间环境管理的变化。"可持续发展"是一种动态的目标,因此以可持续发展为最终目的而推动"生态效益"工作。

未来生态效益的发展,将更为注重经济表现、环境绩效、与社会责任的综合,企业接受并能够引导这样的趋势,便会思考未来的市场与经营方式,并将因消费者、投资者、劳动力、政府、银行、保险公司等各方面的压力,不断地追求生态效益,实现可持续发展。全球的国家大部分都加入 WTO 后,贸易关税障碍将会日愈减缓,对环境问题日趋重视,所以对国际贸易的影响将逐渐转强。迈向"生态效益"的产业结构,让我们在发展经济及科技文明的同时,使环境和生存空间更有保障。

17.2.4　清洁生产与循环经济(Cleaner Production and Circular Economy)

在经济系统中,生产活动和消费活动就是进行一系列的物理反应和化学反应,而物理反应和化学反应都服从质量守恒定律,也就是物质反应前后质量是不变的。因此生产和消费活动也遵循质量守恒定律。经过生产过程和消费过程之后,商品的物质实体并未消失,只是从原来有用的物质变成了无用的废弃物或有害的污染物。而在一定阶段的污染物可能随着新工艺的采用或者因为进入另一个过程而重

新成为能源或原材料,如果组织者能善加利用,那么这样一个“资源-产品-废弃物或污染物”的简单流动的线性经济就可能成为一个“资源-产品-再生资源-再生产品”的反馈式或闭环流动的经济系统,这就是循环经济。

循环经济的基本原则是 3R 原则,即“减量化(reduce)”、“再使用(reuse)”、“再循环(recycle)”。减量化原则要求消费较少的原料和能源来达到发展经济的目的,在经济活动的源头就注意节约资源和减少废弃物的排放,预防和抑制环境污染和环境破坏;再使用原则要求产品和包装容器能够以初始形式被多次使用,而非一次性用品;再循环原则要求生产出来的物品经过消费(生产性消费或生活性消费)后,能重新变成可以利用的资源和能源而不是垃圾和废物。

3R 原则构成了一个有机联系的整体,在这个有机整体中,减量化原则是基础和前提,是首要原则。首先,生产和消费要尽可能地从使用污染环境的原料和能源转移到可再生利用的材料上来,从而奠定了减少污染排放和废物资源化的基础,是再循环的前提;而且,进一步分析可以得出,通过原材料和能源消耗的减量化,也可以使不可再生资源循环周期拉长,为自然资源的再生和人类寻找替代资源提供了一个较长的时间范围,从而促进自然和人类的可持续发展。其次,生产者应尽可能地生产可以满足消费需求的、可以直接再延用或回收再利用的包装材料、容器和其他物品,减少废弃物的产生量,为再利用原则创造条件。很显然,通过再使用和再循环原则的实施,反过来又深化了减量化(特别是对废弃物产生的减量化)原则的实施。

从生产企业的经济效益的角度看,减量化原则将使它们获得高于传统生产方式的经济效益。传统的生产方式是高投入、低产出、高污染的粗放型方式,国家对这种生产方式往往制定了较为严格的税费政策,企业还需要投入大量资金用于污染治理和环境破坏的恢复,其投入产出效益相对比较低。实行减量化原则后,材料和能源得到充分利用,低投入,高产出,低污染,又可获得国家对这种集约型增长方式的税费鼓励政策,其治理污染的费用很低,甚至因为其废物的资源化而不用自己花钱治理污染,经济效益较高。

从环境保护角度看,实施减量化原则是从源头预防和减少污染和破坏。通过以较少的投入获得同样的甚至更多的产出,可以避免对资源特别是不可更新资源的破坏性开采利用,从而减轻和预防环境破坏;通过以较少的废弃物排放来获得同样的产品,可以减轻环境污染。这体现了一种预防为主的思想。发达国家对此早有清醒的认识,德国于 1994 年公布、1998 年 8 月修改通过的《循环经济和废物清除法》第四条“循环经济的原则”对废物规定:“1、首先要避免产生废物,特别重要的是要减少废物的量及其危害性。2、其次是:(1)利用;(2)用来获取能源(能源利用)。”中国是一个发展中国家,在建设过程中,由于资金、技术方面的限制,难以筹集巨额资金用于污染的治理,推行减量化原则,确立预防为主的原则,可以尽量避免环境损害或者将其消除在生产过程中做到防患于未然。而且,环境问题一旦发

生,往往难以消除和恢复,甚至具有不可逆转性,事后治理的费用巨大,所以推行减量化原则是一种投资少、收效快、经济建设与环境保护相协调的有益尝试。

此外,实施减量化原则可以相对减少对资源的消耗,从而减少国家为寻找替代资源的支出,可以减少后代人为生活而必须支付的代价,有效地协调当代人与后代人的关系,既保护了环境又促进了可持续发展的实现。

2002 年 6 月 9 日通过、2003 年 1 月 1 日起实行的《清洁生产促进法》对清洁生产的含义、意义、可行性、必要性、具体操作规程、法律责任等均作了详细的规定,是一部关于清洁生产专门性的法律,因而也是减量化原则具体化为制度和操作规则的最集中的法律规定。因此,要使循环经济继续推广并卓有成效,就必须首先着重实施减量化原则,而在现阶段,实施减量化原则最好的法律武器便是《清洁生产促进法》。

清洁生产的实质是贯彻污染预防原则,从生产设计、能源与原材料选用、工艺技术与设备维护管理等社会生产和服务的各个环节实行全过程控制,从源头削减污染,提高资源利用率,减少或者避免生产、服务和产品使用过程中污染物的产生和排放,以减轻或者消除对人类健康和环境的危害,促进资源的循环利用,实现经济效益与环境效益的统一。实施清洁生产具有重要的现实意义和长远的战略意义:可以节约资源,削减污染,降低污染治理设施的建设和运行费用,提高企业经济效益和竞争能力;实施清洁生产,将污染物消除在源头和生产过程中,可以有效地解决污染转移问题;可以挽救一大批因污染严重而濒临关闭的企业,缓解就业压力和社会矛盾;可以从根本上减轻因经济快速发展给环境造成的巨大压力,降低生产和服务活动对环境的破坏,并为探索和发展“循环经济”奠定良好的基础。

《清洁生产促进法》为政府部门推行清洁生产明确了义务,从而为减量化原则的操作性提供了法律依据。如该法第七条第一款规定:“国务院应当制定有利于实施清洁生产的财政税收政策。”第十二条规定:“国家对浪费资源和严重污染环境的落后生产技术、工艺、设备和产品,实行限期淘汰制度。国务院经济贸易行政主管部门会同国务院有关行政主管部门制定并发布限期淘汰的生产技术、工艺、设备和产品的名录。”这些规定有利于政府为生产经营者自愿实施清洁生产提供支持和服务,也为循环经济在全社会的推广创造适宜的外部环境。

对于生产经管者,《清洁生产促进法》在第三章第十八条至三十一条分别规定了“指导性要求、强制性要求和自愿性规定”3 种要求,为企业实施清洁生产明确了法律义务。在该法第四章又详细规定了奖励、资金补助、优惠贷款、减免增值税等鼓励措施,建立了表彰机制,明确了实施清洁生产者可以从多方面获益;同时也通过“法律责任”一章对不履行义务的生产经营者规定了相应的法律责任,把基本要求、激励机制、约束机制有机结合起来,共同促进清洁生产,从源头减少资源耗损,预防和减少环境污染和破坏,实现经济和社会的可持续发展。总之,认真宣传贯彻《清洁生产促进法》,将有利于全面具体地落实减量化原则,促进循环经济在全社会

健康的发展,推动实施可持续发展战略。

第三节 清洁生产范例
(Some Examples of Cleaner Production)

目前清洁生产在国内外均有较多的成功范例,其中欧洲、美国和加拿大特别领先。下面撷取一些清洁生产的典型成功范例介绍如下。

17.3.1 安徽省阜阳化工总厂

以"中国-加拿大清洁生产合作"项目中安徽省阜阳化工总厂实施清洁生产的成功例子来看清洁生产给企业带来效益。阜阳化工总厂主要生产碳铵和尿素,实施清洁生产之前,在该厂的生产过程中每年都有大量的氨流失到空气和水中,造成严重的环境污染和经济损失。1996 年,加拿大工程师、专业技术人员和阜阳化工总厂的人员共同寻找无废和低废的清洁生产方案,以便提高产量、降低消耗和减少污染物。通过对工艺流程的研究,专家从生产工程中找出至少有 7 股排放到大气或下水道的物流是可以重新利用的,而这 7 股物流占该厂氨污染负荷总量 60% 以上。针对这一发现,中-加科学家们制定出了实施清洁生产的计划,以做到最大限度地减少污染物的流失和对资源的再利用。清洁措施实施后,阜阳化工总厂每年减少排入环境中的氨 4500t,每年估计回收流失氨的收入为 300 万元人民币。综上所述,"清洁生产"的工作,就是通过源头削减废物方式,减少或消除污染物排放,节省了污染物控制设施的投资;减少了污染物设施的运转费用;消除或降低了产品因环境问题而退出市场带来的风险费用等。

17.3.2 山东鲁北企业集团总公司

山东鲁北企业集团总公司濒临渤海、地处黄河三角洲,近靠国家重点工程黄骅港,是一家科技先导型国有特大型企业、上市公司。该集团横跨化工、建材、轻工、电力等 10 个行业,目前是世界上最大的磷铵、硫酸、水泥联合生产企业,全国最大的磷复肥生产基地和石膏制硫酸基地。多年来,该企业弘扬艰苦创业的"黄席棚"精神,在盐碱荒滩创建了绿色环保产业,开发了拥有自主产权的生态科技产业技术,解决了工业发展与环境保护的矛盾,实现了科技创新、产业发展、资源综合利用与环境保护的有机统一,成为我国用生态科技产业技术发展循环经济的典范。前不久,国家环保总局局长解振华在视察鲁北企业集团时指出,鲁北循环经济、生态工业已取得成效,其做法已取得成效,其做法适合中国的国情,也符合世界经济潮流,具有国际意义和推广价值。

鲁北企业集团的前身是一家小硫酸厂,当时,以冯怡生为首的 8 名创业者搭起

两间黄席棚,在异常艰苦的条件下,承担了国家“六五”重大科技攻关项目——石膏制硫酸联产水泥技术试验,并取得成功,填补了国家空白。之后,以此为依托,历经“七五”成果产业化、“八五”、“九五”工程放大与创新配套,科学地开创出3条绿色生态产业链:

一是磷铵、硫酸、水泥联产。在攻克石膏制硫酸联产水泥技术的基础上,不断创新完善,用生产磷铵排放的废渣磷石膏制造硫酸并联产水泥,硫酸又返回用于生产磷铵,整个生产过程没有废物排出,资源在生产全过程中得到了高效循环利用,形成一个生态产业链。既有效地解决了磷铵生产废渣磷石膏堆存占地、污染环境、制约磷复肥工业发展的世界性难题,又开辟了硫酸和水泥生产新的原料路线,开创出一条经济效益、环境效益、社会效益有机统一的、工业生产与环境相协调的可持续发展之路。

二是海水“一水多用”。鲁北企业集团以发展海洋化工为目标,抓住“开发黄河三角洲”和“建设海上山东”两个跨世纪工程的机遇,突破单一制盐传统模式,实施“盐、化、养”一体化、多线条、深层次滚动开发:(一)在初级卤区建成5万亩养殖场,形成孵化、育苗、放养、加工一条龙,进行鱼、虾、蟹、贝类的科学养殖;(二)在中度卤区建成10000吨海水提溴装置,并开发生产具有高附加值的溴化钠、溴化铵、溴化钾、氢溴酸、溴阻燃剂等系列产品;(三)利用饱和卤水建成百万吨盐田,并进行加碘盐等系列保健盐的生产;(四)充分利用苦卤,消除海水污染,进行钾、镁产品的提取加工;(五)利用盐田废渣盐石膏制硫酸联产水泥。多线条、深层次的开发,实现了海水养殖、提溴、晒盐、提取钾、镁盐和盐石膏制硫酸联产水泥的良性循环,在国内开创了一条海水资源“一水多用”的路。

三是清洁发电与盐、碱联产。热电厂以劣质煤和煤矸石为原料,采用循环流化床锅炉、海水冷却技术,电和蒸汽用于总公司生产,排放的炉渣用作水泥混合材;离子膜烧碱工程利用百万吨盐场丰富的卤水资源和自备电力,不经传统的制盐、化盐工艺,直接通过管道把卤水输送到氯碱装置,既减少了生产环节、又节省了原盐运输费用,科技含量高,综合效益好,成为我国离子膜烧碱行业“盐、碱、电”联产的特色工程。

鲁北企业集团将不同的产品依其内在的联系,实施科学的排列组合,所开发应用的技术涵盖了多个行业,涉及系统科学与工程、生态学、环境科学与工程、化学工程与工艺等,各系统之间相互关联形成一个完整的工业系统,是在工业技术集成上的创新。

2002年7月、11月,由国家经贸委、中国工程院组织,对鲁北进行了两次“技术创新院士行”活动,对鲁北的科技创新及产业发展方向进行了诊评,院士们认为:鲁北企业集团资源综合利用得好,生态环境解决得好,无污染,属于零排放,实现了资源综合利用和控制环境负荷的有机统一,走出了一条工业生产与环境协调发展的

可持续之路。

以鲁北石膏制硫酸联产水泥技术的开发为例,它解决了工业生产与环境保护、现代农业与磷复肥工业协调发展的矛盾,对磷复肥工业的发展意义深远。如果该项技术在全国范围推广,不仅每年节省磷石膏堆场建设费 6000 万元,而且为国家节省生产 800 万吨水泥的石灰石矿山建设费 21 亿元;同时节省生产 600 万吨硫酸的硫铁矿矿山建设费 30 亿元,还避免了石灰石生产水泥二氧化碳温室气体的巨量排放。其资源价值难以估价,社会影响意义深远。

8 月 27 日,山东省环保局同意山东鲁北企业集团总公司为省级生态工业园,并上报国家环保总局待批复为国家生态工业园。目前鲁北化工企业集团正在以生态科技产业作为支撑体系,以与中国工程院院士签订的 15 项合作项目为依托,发挥优势,大力发展循环经济,实施盐化工、煤化工、油化工的“三化合一”工程,进一步调整优化产品、产业结构,提高企业核心竞争力,把鲁北作成世界级品牌。到“十五”末,通过大力发展循环经济,促进传统社会经济的三个转变(传统工业生产方式向源头治理、清洁生产无公害技术转变,经济行为观念从单纯的追求经济效益向经济、生态双重目标转变,从获取资源追求物质发展向可持续发展资源观、环境观和效益观的转变),再造 5 个鲁北生态工业园,把鲁北建成兼有科学功能、技术功能、经济功能,技术先进、知识密集、管理文明,环境友好的生态工业园,为我国经济的可持续发展做出新的贡献。

17.3.3 江苏省宜兴协联

热电联产和生物化学两家企业,本属风马牛不相及的产业,然而,江苏省宜兴协联在创办宜兴协联热电有限公司的基础上,又创办了宜兴协联生物化学有限公司。在两家企业各自发展过程中,宜兴协联利用循环经济的理念,在两家企业之间巧妙搭起了“嫁接”的桥梁,通过废水和废物的互相利用和消化,构成了诱人的循环“链环”,实现了污染物产生量的最小化。两家企业唇齿相依,互相依存,成为一对循环型企业的有机体,从而,发挥出最佳经济效益的潜能,使宜兴协联创造的利税,一跃排名宜兴市第一位。

宜兴协联热电有限公司装机总容量 134 兆瓦,自 1995 年投入商业运营以来,坚持发展热电联产,积极拓展集中供热规模。宜兴协联生物化学有限公司一期投资 1000 万美元,年产 1 万吨精品柠檬酸的项目于 2001 年 5 月投产,产品 90 % 以上出口欧美、日本和中东。目前,正在进行年产 5 万吨精品柠檬酸项目扩建。建成投产后将成为我国第二大柠檬酸产品供应商。

近几年,宜兴协联先后投资 1000 余万元,用于热电公司的电除尘和气力输灰设备,使除尘效率达到 99 % 以上;投资 1200 万元,采用国际领先的厌氧好氧污水处理技术治理柠檬酸废水,为解决发酵行业的废水治理难题提供强有力的保证。

电力生产是以原煤为燃料,实现能源的二次转换。它对环境产生影响的主要是烟尘和二氧化硫。柠檬酸是以玉米为主要生产原料,得到高品质的柠檬酸成品,并产生大量工业废水。

在推行清洁生产的过程中,宜兴协联根据热电和生化行业的不同特点,因地制宜,通过优化生产过程,降低能耗物耗,实现污染物产生量的最小化。柠檬酸生产企业是一个传统重污染源。宜兴协联在一期工程中充分考虑“三废”总量的控制,在国内首家采用半气升式发酵罐,使搅拌能耗仅为传统的20%。在离子交换工艺上选用新型树脂,每日减少离子交换废水排放600吨,并对废水进行了分类处理。同时,宜兴协联积极运用循环经济的方式,在热电公司和生化公司之间巧妙进行“嫁接”,实现了污染物的互相消化和利用。他们结合工艺流程中的实际情况,利用热电公司拥有的锅炉,把柠檬酸生产过程中产生的玉米原料粉尘、助滤剂、活性污泥以及含有大量有机物的生产废渣等掺和在原煤中,通过上千度高温燃烧变成少量无害的炉渣出售。而生化公司的生产和生活污水经由IC反应器生化处理之后,产生的日产约两万立方沼气,被源源不断输送到热电公司装有沼气燃烧系统的7号炉助燃焚烧,每天节约烧煤30吨,每年增收节支200多万元。同时,IC反应器每年还产生3000多立方米的活性颗粒污泥,成为污水处理厂的优质菌种。目前,每立方米的市场售价已达1000多元,并供不应求。

尝到了循环经济甜头的宜兴协联,在两家企业构成循环利用的“链环”之后,进一步把循环经济的“蛋糕”做大。目前,宜兴协联结合企业实际情况,正进行能源梯级利用和废物的循环利用论证,准备利用柠檬酸高浓度废水作为电厂生物脱硫工艺中微生物的能源。这样,可以大大节约生物法中的制氢能耗,又可以消耗柠檬酸生产中的大量废水,把烟气中的二氧化硫转化为优质单质硫,以实现化害为利和变废为宝的目标。

17.3.4　江苏菊花味精集团

“污泥”出口赚了大把洋钱!这个奇迹发生在江苏菊花味精集团。

这个集团每天产生近3000吨污水、20多吨污泥,作环保处理每年要花1000多万元,但加工提炼成各种蛋白,一年赚回了1200万元。

味精的主要原料是大米。大米进厂后首先要“淘米”,在水中浸泡4个小时,磨成米浆发酵后提炼出味精。“菊花味精”一年要消耗大米9万吨,每天产生的“淘米水”和米浆发酵流出的水中都含有大量的残糖、淀粉、微生物发酵菌,这些水排出去对环境破坏性极强。味精厂用新技术从污水里提炼菌体蛋白解决了难题。

记者近日在厂里采访时,在“淘米水池”边,还闻到酸臭味阵阵袭来',但到了成品车间,污水里“捞出来”的菌体蛋白已经变成了黄灿灿的粉末,抓起一把来一闻,香喷喷的。污水处理厂潘小毅厂长介绍,这种菌体蛋白是很好的饲料添加剂,每年

50 %的产品出口到泰国、新加坡等国外市场。以往每年这些污水的处理费起码500 万元,现在卖菌体蛋白一年进账 900 万元,去掉成本,还可以获得 300 多万元的纯利。

味精厂把“废物”变成钞票的故事还不止这一个。大米发酵后生成酒糟一样的“米渣”以前也很让味精厂头疼。一天产生米渣 300 多吨,卖作猪饲料,只有 500 元一吨,由于销路不好,堆积如山的米渣常常臭气熏天。现在以米渣为原料生产出“大米蛋白粉”,这种外观很像“麦乳精”的东西是宠物高档保健品,目前在美国、韩国等国际市场供不应求,每月的出口量近 90 吨,价格卖到每吨 3000 多元。一年1000 吨的“大米蛋白粉”也可以为厂里赚回 300 万元。

加工味精的过程中,会沉淀产生大量的活性污泥,常规做法是脱水、浓缩后填埋。“菊花味精”一天产生污泥 20 多吨,一年就是 7000 多吨。每年要填满几十亩的大坑。垃圾处理费就要花 60 万元,填埋后对环境的二次污染更是不可估量。2001 年开始,菊花味精厂独创出在污泥中加入絮凝剂生产水生物蛋白的新技术,填补了国内空白。漆黑漆黑的污泥经过分离、处理、烘干后变为水生物蛋白粉末,成了上好的鱼虾干饲料。厂里每个月出产 50 多吨这种香喷喷的干饲料,污泥变成了金子。

据张家港市环保局顾雷祥副局长介绍,“菊花味精”从污水、污泥中提炼各种蛋白的多项技术在国内领先,不仅提高了企业经济效益,也减少了对环境的污染。以前味精厂周围河里鱼虾绝迹,现在久违的鱼虾又回来了。

第四节　清洁生产内涵的扩展
(Expanded Cleaner Production)

我们从 2000 年 7 月 20 日颁布执行的中华人民共和国清洁生产法(草案)和 2002 年 6 月 9 日通过、2003 年 1 月 1 日起实行的《清洁生产促进法》可以明显地看出两者在内涵上有了很大的变化。中华人民共和国清洁生产法(草案)总则中说:“本法所称清洁生产,是指将污染预防战略持续地应用于生产全过程,通过不断地改善管理和推进技术进步,提高资源利用率,减少污染物排放,以降低对环境和人类的危害。”中华人民共和国清洁生产法(草案)总则中更进一步限定:“在中华人民共和国领域及管辖海域内从事工业生产经营活动的单位和个人,应当遵守本法。”因此,直到上个世纪末、本世纪初人们概念中所谓清洁生产基本是针对工业生产的。

2002 年 6 月 9 日通过、2003 年 1 月 1 日起实行的《清洁生产促进法》则不一样了,请见第一章总则:

第一条为了促进清洁生产,提高资源利用效率,减少和避免污染物的产生,保护和改善环境,保障人体健康,促进经济与社会可持续发展,制定本法。

第二条本法所称清洁生产,是指不断采取改进设计、使用清洁的能源和原料、采用先进的工艺技术与设备、改善管理、综合利用等措施,从源头削减污染,提高资源利用效率,减少或者避免生产、服务和产品使用过程中污染物的产生和排放,以减轻或者消除对人类健康和环境的危害。

第三条在中华人民共和国领域内,从事生产和服务活动的单位以及从事相关管理活动的部门依照本法规定,组织、实施清洁生产。

第四条国家鼓励和促进清洁生产。国务院和县级以上地方人民政府,应当将清洁生产纳入国民经济和社会发展计划以及环境保护、资源利用、产业发展、区域开发等规划。

第五条国务院经济贸易行政主管部门负责组织、协调全国的清洁生产促进工作。国务院环境保护、计划、科学技术、农业、建设、水利和质量技术监督等行政主管部门,按照各自的职责,负责有关的清洁生产促进工作。

县级以上地方人民政府负责领导本行政区域内的清洁生产促进工作。县级以上地方人民政府经济贸易行政主管部门负责组织、协调本行政区域内的清洁生产促进工作。县级以上地方人民政府环境保护、计划、科学技术、农业、建设、水利和质量技术监督等行政主管部门,按照各自的职责,负责有关的清洁生产促进工作。

这里显然清洁生产的范围不再局限于工业企业(第二产业),面向全部生产性的活动,事实上在第五条中已经明确地包括了农业(第一产业)。关于清洁生产的定义、特点和操作程序前边已作了详细介绍,我们可以看出,完全可以适用于农业。与工业生产相比,农业的清洁生产更带有“回归自然”的味道,比如说“无公害产品”、“绿色食品”和“有机食品”的生产。另外一种表述就是生态农业。

17.4.1　有机农业的起源(Origin of Organic Agriculture)

有机农业起始于20世纪初,具有多种流派,但其哲学原理与思想都是相同或相近的,都是将农业生产建立在生态学基础上而不是化学基础上。我们现在所指的有机农业,在国外还有许多名称,如生态农业、生物农业、生物动力农业、自然农业等,它们的发展历程相似,在70年代以后都得到迅速的推广,并随着有机食品认证和贸易的发展而不断扩大。下面分别对以上几种形式的有机农业的起源作简单介绍。

(1)英、美国家有机农业的起源

1909年,美国农业部土地管理局局长金(King)途经日本到中国,他考察了中国农业数千年兴盛不衰的经验,并于1911年写成《四千年的农民》一书。书中指出中国传统农业长盛不衰的秘密在于中国农民勤劳、智慧、节俭,善于利用时间和空间提高土地利用率,并以人畜粪便和一切废弃物、塘泥等还田培养地力;该书对英国植物病理学家霍华德影响很大,他在金的基础上进一步深入总结和研究中国传统农业的经验,于20世纪30年代初倡导了有机农业,并由贝弗尔夫人和英国土壤

学会首先实验和推广。1940 年霍华德写成了《农业圣典》一书,此书成为当今指导国际有机农业运动的经典著作之一。1945 年,美国有机农业的创始人罗代尔受其影响,按照他的办法创办了罗代尔有机农场。罗代尔农场从创办至今一直从事有机农业的研究和出版工作,是国际有机农业运动联盟积极倡导单位之一。

(2)生物动力农业

生物动力农业(biodynamic agriculture)起源于鲁道夫·斯坦纳于 1924 年在 Silesia 的 Koberwitz Estate 农场的 8 场演讲。斯坦纳是德国的一个著名哲学家和出版家,主要从事人文精神研究,在医学、药学、宗教、社会科学、艺术、戏剧、绘画和雕塑等方面都作出了重要的贡献。生物动力农业与有机农业有许多原理和方法是相同的,两者都是生态定向的,生态意识是共同点。生物动力农业的特殊之处在于其思想来源于“繁荣农业的人文基础”,其范围不仅仅局限于耕作,还包括教育、艺术、营养和宗教,可以说是一种全方位的思想体系。混合于堆肥中或喷洒到土壤中的生物动力制剂是其最具特色的特点,由多种草药制成(蒲公英,果香菊,蓍草,荨麻,栎树皮等),认为它可以促进堆肥的腐熟,提高粪肥对土壤生命和作物生长的效果,可刺激植物吸收太阳光和宇宙的能量。生物动力农业主要分布在德、法等欧洲国家,在德国有著名的生物动力农业协会——Demeter,现在是德国的第二大有机农民协会,其产品在市场上的信誉度最好,价格最高。

(3)生物农业

生物农业由瑞士农业政治家汉斯·米勒(Hans Müller)博士和其夫人玛利亚·米勒(Maria Müller) 以及拉什(H. P. Rush)医生于 1940 年提出。生物农业是根据生物学原理建立起来的一种保持和改进土地生产力的农业生产方式,认为农业是一个系统,这个系统应力图提供一个平衡的环境,从而维持土壤肥力和控制病虫害,同时以适当的能量和资源投入来维持最适的生产力和保持良好的环境。生物农业是分布于德国、英国、奥地利等国家的一个流派,其中德国目前最大的有机农民协会 Bioland 就是根据汉斯·米勒的理论进行有机生产。在德国 Bioland 与 Demeter 在操作上的重要区别之一是 Bioland 提倡向自然界学习(如树叶落地腐烂,养分循环使用),作物秸秆可以直接还田,而 Demeter 则强调一切生物有机物都要经过充分腐熟后才能用于有机地块。Bioland 农场标牌标明 Bioland 按 Hans Müller 的理论组织生产。

(4)生态农业

生态农业是由美国密苏里大学土壤学家阿尔布勒奇(W. Albreche)于 1970 年首次提出。此后英国农学家伍新顿(M. Worthington)发展并充实了生态农业的内涵,于 1981 年将生态农业明确定义为:生态上能自我维持,低输入,经济上有生命力,在环境、伦理和审美方面可接受的小型农业。该流派主张完全不用或基本不用化肥、农药,代之以秸秆、人粪尿、绿肥等有机肥和利用天然物质、农业和物理、生物

措施等防除病虫杂草,提倡尽量利用各种可再生资源和人力、畜力进行农事操作,强调保护野生动植物资源和采用轮作、间套种来提高土壤肥力。生态农业主要在美、英、德、日等国家应用。

除此之外,还有诸如低投入农业,再生农业和替代农业等类似于有机农业的模式。

17.4.2　有机农业的发展(Development of Organic Agriculture)

由于现代石油农业的各种弊端逐渐暴露,进入 20 世纪 70 年代后,有机农业越来越受到发达国家农民和科学家的重视,许多有关有机农企的组织和研究所纷纷成立,如 1972 年国际有机农业运动联合会(IFOAM)由美、英、法、瑞典、南非五个国家的五个组织倡导在法国成立,1975 年英国成立了有机农业研究会,且早在 1958 年日本就成立了自然农法国际研究中心。进入 90 年代后。随着有机食品贸易在世界范围内迅速扩展。如每年一度在德国纽伦堡举办的有机食品贸易博览会(Biofach)就有来自世界各国的 1000 多个贸易商参展,世界上大多数国家都成立了相关的有机农业组织,如有机农民协会、有机食品检查认证和咨询机构,成立了众多的有机食品贸易公司,形成了有机农业研究、咨询、生产、加工、贸易、认证一体化的局势,推动着有机农业、有机食品事业迅速向前发展。

(1)欧洲国家的有机农业发展

欧洲是有机农业发源地,随着消费者的环境健康意识的提高、有机食品市场的开拓及国家的津贴鼓励政策出台,20 世纪 80 年代开始,有机农业在多数欧洲国家得到迅速发展。

英国是首先实行有机农业的国家之一,20 世纪 30 年代初英国植物病理学家霍华德(Albert Howard)在总结中国和印度传统农业经验的基础上提出有机农业概念,并由贝弗尔夫人(Eve Balfour)和英国土壤协会进行试验和推广。1975 年英国成立了国际生物农业研究所,并在 1980 年召开了国际生物农业会议,肯定了有机农业的优点,使有机农业在英国得到了广泛的接受和发展。1983 年英国成立了有机生产标准委员会,查尔斯王子也兴办了一个有机耕作农场。目前英国有著名的有机认证机构英国土壤协会(Soil Association)和 Elm 有机农业研究中心为英国有机农民提供检查认证和咨询服务。到 1998 年初,英国有 105 100 公顷有机管理的农田,有机农场超过 1000 个,这仅为总农田数的 0.5%,低于当时欧盟国家平均的 1.33%。据统计,2000 年欧洲有机农场数目超过 10 万个,总面积 300 万公顷,平均占农业面积的 2%,预计到 2007 年将增至 10%。英国有机食品的销售额由 1993 年的1亿英镑急剧上升至 1997 年 2.6 亿英镑,年销售额增长 40%,估计到 2002 年有机食品将占销售额的 7%～8%,潜在零售额将超过 10 亿英镑。

除英国外,德国的有机农业运动也十分活跃,它最早是以德国著名哲学家鲁道

夫·斯坦纳(Rudolf Steiner)提出的生物动力农业的形式出现的。继 20 世纪 20 年代生物动力农业协会成立后,德国农民自 60 年代以来又创立了 8 个有机农业协会,并于 1988 年共同组建了德国有机农业运动联合会(AG L),制定了共同的有机农业生产及加工方面的框架标准。到 1998 年初德国有机农业运动联合会成员拥有 6793 个农场,有机耕作面积达 351062 hm^2,占德国农业用地的 2%。根据德国中央市场与价格委员会的资料显示,1998 年,德国有机食品销售总额大约为 20 亿美元,占食品市场额的 2%。预计在未来的几年里、德国有机食品市场仍将以 10% 以上的速度增长,德国现任农业部长库纳丝女士提出到 2005 年德国的有机农业要发展到占农业面积的 10%,2010 年要使德国有机食品销售额占食品销售总额的 20%。德国有机食品市场发育如此之好,发展如此之快有诸多原因,其中最重要的是政策扶持和法律的保障。为了鼓励有机农业的发展,德国政府对有机农业生产进行补助,补贴为每公顷 200 德国马克,直接发放给农户。在立法方面,欧盟有专门的有机生产法规 EEC2092/ 91 条例,此条例是有机生产者必须执行的最低标准,德国执行 2092/ 91 条例的有机认证机构就有 59 家。

奥地利 1992 年只有 2000 个有机农场,4 年后,有机农场数目已达 2 万个,其土地面积在 1996 年就占到了奥地利农业总面积的 10%。1994 年瑞典国会通过了一项大力推广有机(生态)农业的决议,要在 2000 年将 10% 的农场转为有机生产,到 1996 年有机生产和转换面积已有 1.5 万公顷,占全部农用面积的 5.4%,其中已获有机认证的农场为 2800 个,有机农场的平均面积为 51 公顷,KRAV 是瑞典著名的有机产品认证机构。丹麦 1987 年通过了国家有机生产法,是世界上首批通过有机生产法的国家之一。1988 年开始实施有机农业津贴政策,到 1995 年丹麦政府对有机农场的补贴和有机农业研究、服务行业的资助达 1000 万美元。1995 年丹麦从事有机生产的农田面积为 35002 公顷,占整个农田面积的 1.3%,但丹麦的有机奶制品和鸡蛋的生产发展较快,1995 年丹麦的有机奶制品约占整个奶制品的 2.4%,有机蛋约占整个蛋制品的 4.9%。根据丹麦国家有机食品生产行动计划,到 2009 年有 20 万公顷的农田转换成有机生产,占整个农业面积的 10%。

瑞士的有机农业是从 1930 年开始的,1945 年汉斯·米勒(Hans Müller)创建了有机农业培训中心。1980 年,瑞士有机农业联合会(Bio Suisse)成立,同时其所颁布的有机农业生产标准开始实施,并开展全国范围内的检查和认证活动,Bio Suisse 和组成标志的芽形图案一度时期曾经是整个瑞士有机食品质量的标志。1993 年瑞士仅有 1386 个有机农场,到 1996 年,全瑞士已有 4000 个有机农场,有机农田(包括正在转换的农场)总面积为 60000 公顷,占土地总面积的 6%,到 1999 年,有机农田面积为 84124 公顷,占总农业面积的 7.8%。瑞士是第一届(1977 年)和第十三届(2000 年)IFOAM 科学大会的主办国,有欧洲最著名的有机农业研究所 - Fibl 有机农业研究所(1974 年成立)。目前瑞士国内主要的有机产品标志为:Bio

Suisse, Demeter 和 Migros Bio Production。

(2)美国有机农业的发展

美国的有机农业起始于 1945 年罗代尔(J. I. Rodale)兴办的第一个有机农场。同一年,罗代尔出版了《堆肥农业和园艺》一书,告诉人们如何利用自然生物的方法去培养更健康的土壤以获更健康的食物,并在自己的农场中实践,于 1974 年在扩大农场和过去研究的基础上成立了罗代尔研究所,并已成为美国和世界上从事有机农业研究的著名研究所。

20 世纪 60 年代,在美国曾有一场围绕有机农业展开的论战,有人指责有机农业是排斥现代科学技术,把人类返回到原始社会中去的无稽之谈,但到了 70 年代初出现第一次能源危机时,有机农业受到越来越多的人的重视和接受。美国农业部也开始转变其对有机农业不支持的态度,并于 1979 年组织成立了一个十人小组对美国和欧洲国家的有机农业进行调查,1980 年向农业部提交了一份"有机农业的报告和建议",其中对有机农业下了一个比较精确的定义。随后农业部在政策和研究经费方面对发展有机农业都给予了支持。一些大学,如加州大学圣克鲁斯(Santa Cruz)分校的农业生态与替代食品研究中心也开始进行有机农业的研究。到 1988 年,根据美国农业部的估算,美国的有机农场数已发展到 3 万个左右,认证的面积达 200 多万英亩。美国现有 44 个民间有机食品认证机构和 30 个州立认证机构;1997 年美国有机食品的销售额为 35 亿美元,以每年 25 % 左右的速度增长。

1992 年在协助农业部制订全国有机食品标准的国家有机标准委员会成立。1997 年,农业部公布了国家有机食品生产法案草案,但允许使用基因工程技术,允许用污水和污泥作为肥源及允许采用离子辐射技术,以致遭到了来自世界范围的强烈反对,于是 2000 年 3 月正式出台的有机生产法案(NOP)中放弃了以上 3 方面的许可。

(3)日本的有机农业发展

日本的有机农业思想最初是以自然农法提出来的,它首先由世界救世教教祖冈田茂吉发起,于 1935 年在"世界救世教"杂志上发表"无肥料栽培"一文,后来以他的名字命名为"MOA 自然农法"。最早实施自然农法并形成比较系统的理论和技术的是日本农民专家福冈正信。他于 50 年代开始实践,并据自己的实践经验写了一本名为《一根稻草的革命》一书,强调尽量利用自然环境和条件,与自然密切合作与协调,谋求一种与自然相和谐的农业技术。

福冈正信先生将无肥料栽培发展成为"四无农业"。到 1958 年,日本自然农业户已发展到 15000 多个,自然农业国际研究开发中心也在日本建立,目的是使自然农业走向全世界。从 1989 年起,先后在泰国、美国、丹麦、法国、韩国等召开国际研讨会,参加的国家也由十多个增加到 30 多个。自然农业本身也在不断发展和丰富,明确提出了要实现的四个目标,它们是:

①生产出高质量的无污染食品以增强人类的健康。

②在经济上和精神上对生产者和消费者双方都有利。

③必须是持续发展的,而且其操作技术是容易掌握的。

④生产出足够的粮食来满足世界上不断增长的人口需要。

从自然农业思想的形成、发展和不断完善的过程,反映出人类对石化农业的忧虑和恢复自然,保护环境的愿望;同时也使"自然农业"成为国际农业研究领域不可忽视的重要组成部分。因此,它所提倡和研究提出的某些技术,如果园、旱地的草生栽培,免耕,有效微生物的利用等,已被许多国家广泛采用,自然农业不仅在日本、拉美、东南亚,包括美国、法国等一些发达国家和地区也不乏支持者。80 年代初日本琉球大学比嘉照夫教授从自然界分离出 EM 菌(有效微生物菌群),并培养出系列产品。EM 具有防治病原菌,抑制作物疾病,转化土壤和大气中的营养成分,增加作物产量,提高品质的功效。EM 技术的推广应用,使日本自然农法得以较快发展起来。

在自然农业发展的同时,日本从 20 世纪 70 年代开始发展有机农业,并先后成立了一些自然农业、有机农业的民间交流和促进组织,如自然农法国际基金会,大地保护会,日本有机农业研究会,日本有机农业协会(JOAA),有机银行(Organic Bank)等,生产并向消费者提供"无公害、清洁、有益健康"的天然、有机食品。1997 年日本政府公布了自然农业技术的推广纲要,逐步将自然农业的开发、生产、推广纳入法规管理轨道。1992 年日本农林水产省制订了《有机农产品蔬菜、水果特别标志准则》和《有机农产品生产管理要点》,并于 1992 年将以自然农业、有机农业为主的农业生产方式列入保护环境型农业政策。1998 年 11 月 10 日日本农林水产省公布了有机食品基本标准,2001 年 4 月日本开始正式实施有机食品国家标准及检查认证制度(即 JAS 法)。

日本目前的市场规模约 1000 亿～2000 亿日元,占食品销售总值的 2 %,年增长速度达 30 %～40 %,每年从中国进口大量的有机蔬菜和大豆。据农林水产省对家庭主妇进行的有机栽培蔬菜消费意识调查表明,91.6 % 的消费者对有机栽培蔬菜感兴趣,只有 8.2 % 表示不感兴趣,从年龄结构看,年龄越大兴趣越大,但感兴趣的比例都在 83 % 以上。

日本自然农业、有机农业得以逐步发展的因素之一是:日本有机、自然农业民间团体极力培育自然食品、有机食品的消费市场,构建生产者与消费者之间的桥梁,日本自然食品、有机食品的流通,除一般途径外,还有生产者与消费者直接见面的方式即 Teikei 系统,许多生产者生产的产品共同销售及由协会、研究会、生产协同组织等组织建立的会员制生产销售方式。

(4)中国有机农业、有机食品的发展

20 世纪 70 年代末 80 年代初,我国以马世骏为首的老一辈科学家提出要在我

国发展能实现生态、经济和社会三大效益相结合的生态农业,并开始在全国范围内进行由生态户、村、乡、县等不同规模示范研究,取得了全世界瞩目的成就,于 1992 年开始由农业部和国家计委、国家科委、财政部、林业部、水利部、国家环保局等七部委局联合抓全国 50 个生态农业县建设。我国生态农业的建设是在国外发展生态农业、有机农业的启示下提出来的,但考虑到我国人多地少,因此尽管我国生态农业的理论基础同国外生态农业相同,但具体操作和要求上有很大差别,最明显的就是我国生态农业强调营养物质的良性循环,但不排斥农用化学品使用。

我国生态农业的实践为有机农业的发展提供了很好的思想和实践基础,但我国真正开始有机农业的研究是在 20 世纪 80 年代底国家环保总局南京环境科学研究所与国外大学和基金会,如加州大学圣克鲁斯分校、洛克菲勒兄弟基金会、温洛克基金等进行的合作研究,即有机作物生产系统与常规生产系统的比较研究。在研究过程中逐步加深了对有机农业的概念和原理的理解,收集了大量的资料,总结了生产技术经验,为我国有机农业的发展和有机食品的开发奠定了基础。1990 年,浙江临安的有机绿茶经荷兰认证组织 Skal 的认证出口到荷兰,开创了我国有机食品出口的历史。1994 年 10 月经国家环保总局的批准,在国家环保总局南京环境科学研究所成立了“国家环保总局有机食品发展中心(OFDC)”。OFDC 的成立是我国有机农业和有机食品发展的里程碑,它的主要职能是专门从事有机食品的检查认证、宣传培训、质量监督、生产技术研究和咨询及国际交流与合作。1995 年 OFDC 同美国国际有机作物改良协会(OCIA)合作,在中国建立 OCIA 中国分会代表 OCIA 进行有机食品的检查和认证,使我国有机食品能顺利地出口到国外。1999 年,为了使我国有机食品认证工作能够与国际惯例接轨,从 OFDC 将有机生产咨询指导的功能分离出来,成立了专门从事有机食品的研究咨询机构—南京环球有机食品研究咨询中心。这标志着我国有机农业生产、咨询、认证的完整体系已基本建立,为促进我国有机农业的健康、规范发展打下了基础。

17.4.3　有机农业的基本原则(Principles of Organic Agriculture)

有机农业以生物学、生态学为理论指导,以实现环境、经济和社会三大效益完美结合为目标,其基本原则可概括为八个方面。

(1)建立相对封闭的作物营养循环体系

有机农业禁止使用人工合成的化学肥料,尽量减少作物生产对外部物质的依赖,也即强调系统内部营养物质的循环。通过把农业生产系统中的各种有机废弃物,如人畜粪便、作物秸秆和残茬等,重新投入到系统内的营养物质的循环运动,把人、土地、动植物和农场联结为一个相互关联的、整体(见图 17.7)。也就是说,有机农业不是单一的作物种植,而是强调种养结合,农林牧副渔合理配置,从而实现营养物质循环利用的综合农业系统。土壤为作物提供养分,各种废弃物携带的营

养又必须重新归还土壤。通过营养物质的循环使用,可以大大减少外部物质的投入,建立一健康、经济的体系。万一需要从外部补充一些养分,也只能由有机肥或难溶的矿物性肥料如磷矿粉、钾矿石,硅酸钙石粉等方式投入。

图 17.7 有机农业养分循环示意图

养分封闭式循环利用是有机农业理论的基础,有机农业的其他原则都是这一理论的延伸。目前我国有机农业还处发展的初级阶段,许多生产基地由于对有机农业的认识还比较肤浅,还没有透彻领会养分循环在培肥土壤,作物健康,降低成本,节约能源方面的意义与重要性,往往是完全用商品化生产的有机肥代替化肥的使用,而忽视了或忽略了系统中各种有机废弃物的循环使用。结果,由于购买的商品有机肥价格偏高,施用量大,使得有机生产的成本大幅增加。

(2)培育充满生命活力的土壤

土壤哺育了整个自然界,是生命生存的基础。常规农业致使土壤肥力下降,结构破坏,水土流失严重,而保护土壤却是有机农业的核心。有机农业的所有生产方法都应立足于土壤健康和肥力的保护提高。健康的土壤→健康的植物→健康的动物→人类健康,这一反应链的起始就是土壤。

土壤也是一个农业系统内营养物质循环的基石。一把土壤中含有无数的土壤微生物,他们运输养分并提供给植物根部吸收。与家畜一样,土壤微生物也需要“喂食”,有机粪肥、作物残茬与绿肥都能为土壤中的生命提供营养,而且活着的植物通过其根部释放有机物质为土壤微生物提供食物。因此有机生产中土壤培肥是先用有机肥喂土壤,这些有机肥再通过土壤微生物的加工分解又反过来为植物提供生长所需的各种物质,而不像常规农业那样用化学肥料直接为作物提供养分。因此说,健康的土壤是有生命的土壤。土壤生物(微生物、昆虫、蚯蚓等)的活性决

定着土壤是否肥沃。肥沃的土壤结构保持了适宜的土壤湿度,保证了最佳的植物生命状态,从而也能提高植物抵抗病虫害的能力。

土壤是有机农业的核心,可以说对土壤的认识与重视程度不同是有机农业与常规农业的根本区别之一;有机农业强调土壤的可扎根性,通透性,和土壤的有机质含量及土壤生命活力;这是作物吸收所需养分,增强对病虫抗性的关键;而常规农业由于易溶性化肥的使用,使得土壤的理化、生物特性对作物养分的获得并不那么重要,但却使得农业生产的产品质量下降,作物频繁受到病虫的危害,农药的使用日益增加。

IFOAM 会歌就充分体现了培育充满生命活力的土壤在发展有机农业中的核心地位。

IFOAM 会歌

In all the world the need is felt	整个世界正在期待着巨变
To make a drastic change	为了更美好的生活
A choice for life, a choice for health	为了人类的健康
Ever wider is the range	选择的范围更加宽广
So let us sing to living soil	让我们为充满活力的土壤而歌唱
Organic farmers' pride	有机农民的骄傲
IFOAM brings us all together	IFOAM 将我们联合在一起
To reach this goal worldwide	为了整个世界共同达到这个目标
They herd the cows, they plant the seeds	他们放牧牛羊,他们耕种庄稼
Not only humans do they feed	不仅养育人类
Also water, soil and air	也保护河流、大地和空气
So let us sing to living soil	让我们为充满活力的土壤而歌唱
Organic farmers' pride	有机农民的骄傲
IFOAM brings us all together	IFOAM 将我们联合在一起
To reach this goal worldwide	为了整个世界共同达到这个目标
May all our children and	愿我们的后代和后代的后代
their children	生活在更绿的地球上
Live on a greener earth	为了孩子的将来
For their inherit all our deeds	我们的行动是有价值的
That's what makes it worth	让我们为充满活力的土壤而歌唱
So let us sing to living soil	有机农民的骄傲
Organic farmers' pride	拉起手来祝福我们的工作
Join hands and may the work be blessed	为了整个世界共同达到这个目标
To reach this goal worldwide	

(3)保护自然资源

常规农业中,农业的大幅度增产是通过大量增加农业生产资料(化肥、农药)的投入来实现的。我们知道,生产化肥和农药需要大量的石化能源和矿物资源,而地球上的石油和矿床中的磷钾的储量都是有限的,总有一天会用完。而且,化学合成的氮肥是水源污染、水体富营养化的重要因素;因此,有机农业的原则之一就是要保护这些不可再生性自然资源,走可持续发展的道路。在西方国家,部分有机农场和加工厂的运输车辆已经改为用植物油为燃油,从而减少对汽油、柴油等石油能源的消耗。

土壤中磷和钾的储量要比矿层中的储量多许多倍,因此,有机农业强调通过提高土壤生物活性,分解处于难溶状态的磷和钾等养分,充分利用土壤中的现有营养资源,减少矿物资源的使用。

有机农业与自然环境的保护及可持续发展有着极为紧密的联系。当前环境保护工作中保护生物多样性,减少农业生产的面源污染,生物安全,生态建设等热点工作与有机农业有许多共同的目标,发展有机农业是开展这些工作的重要方式与内容之一。对于从事有机农业领域的各级人员,要树立起强烈的生态道德观,培养生态文明意识,尽量保护各种自然资源,这样才有可能发展真正意义上的有机农业,实现有机农业的目标。

(4)作物病虫害的生态防治和健康栽培

有机农业的另一重要原则就是充分发挥农业生态系统内的自然调节机制和作物的健康栽培,见图 17.8。农业生态系统中,害虫和益虫的密度都是在不断变化的,它们之间是相生相克、此消彼长的关系。害虫也是自然界固有的组成部分,害虫是益虫的食物。因此,农业生产中的病虫害防治首先在于采用适当的农艺措施,

图 17.8 有机农业生产措施与作物健康关系图

建立合理的作物生长体系和平衡的生态环境,提高系统内自然生物防治能力,从而抑制害虫的爆发,而并非像现代农业那样力求彻底消灭害虫,即通过生态而非农药的方式来防治害虫的发生。

为了抑制害虫的爆发,有机农业还要求提高农业生态系统内物种的多样性。因为,一般情况下物种越丰富,系统就越稳定,自然调控能力也就越强。促进物种多样性的方法主要有:多样性种植、植物轮作和有目的地建立群落生境,为天敌提供栖息地,如在英国等欧洲国家一些有机农业协会的标准中就规定需要保留一定比例的空地作为天敌栖息地。

多样化种植既创造平衡环境又美化田园景观,见图 17.9。

图 17.9　多样化种植既创造平衡环境又美化田园景观

健康栽培是有机作物抵抗病害的主要措施。通过抗性品种,培肥土壤,合理轮作,科学的肥水管理,使得作物生长健壮,有效地抵抗病原菌的侵染。

病虫害的生态防治是一项长期的工作,但生产者刚开始有机转换时往往比较急切,希望能够获得与化学农药同样有效的生物农药。这种想法具有相当的普遍性,但却必须得到纠正。要发展有机农业,一定要改变常规农业的思维与行为习惯,认识到健康栽培、生态防治才是病虫害的关键控制方法,生物、物理手段只是必要时的一种辅助手段。

(5)根据土地面积适量饲养家畜

也就是说,农场能生产多少饲料就饲养多少头家畜。有机农业的封闭式循环不仅是指不从外界购买肥料,而且也包括不从外界购买饲料。由于饲料与肥料一样都含有营养物质,在过量饲养家畜的情况下,必然要从外界大量购买饲料,这会

引起一系列的问题:大量的家畜产生大量的粪便,过量施用有机粪肥会改变土地表层构成,更重要的是,有机粪肥过量施用还会带来环境问题(亚硝酸盐污染地下水、氨气挥发等)。

因此,有机农业要求农民只能养殖其土地能承载的家畜数量,这样,家畜产生的粪便量正好能被土地所接受。种植与养殖处于一种相互平衡的关系,另外,家畜的数量少一些,农民可以更精心地照料。

在我国农村,“一亩地,一头猪”的说法就与此原则意义一致。当然,在现在社会经济条件下,完全按照这种原则发展有机养殖比较困难,但大规模的集约化养殖是不符合有机农业的原则的。

(6)按照家畜自然习性进行饲养管理

按照家畜自然习性进行饲养管理就要求在饲养过程中要充分满足动物的行为需要与生理特点。现代畜牧业片面追求动物的高产和快速增长,导致家畜的工厂化集约饲养。猪被成群地关在带有漏缝地板的猪舍内,鸡被密集地关在鸡笼内,终年不见天日,完全成了生产机器,失去了作为生命的意义,满足天然习性更无从谈起。由此引起一系列问题如奶牛繁殖力下降、生长寿命缩短、发病率增高,猪因为生活环境单调无味而自相残杀。近年在英国发生的“口蹄疫”就是高度集约化养殖的结果,而在有机农场很少发现此病也是有机养殖尊重家畜自然习性,有利于动物健康的有利证明。

所以,有机农业要求人们,首先要从思想上尊重家畜,把家畜当作人类的朋友看待。在家畜管理方面,要让家畜能够按其天生的行为习惯自由地生活。畜舍的设计不能影响家畜的健康,畜舍要铺加垫草,以便牲畜能够舒适地起卧而不受伤害;鸡舍要有供其啄食和扒挠的地方;猪要让它能够四处活动和拱土,不能为了管理方便而割断尾巴、拔掉牙齿。

在饲养方面,应喂给有机饲料,力争系统内饲料自给,在不得不购买非有机饲料的情况下,购买部分不应超过所需饲料干物质的 10 % ～20 % 。在家畜的疾病防治方面,应以改善管理方法预防为主。家畜一旦发病,要立即治疗,减轻家畜病痛,排除发病原因。

治疗时尽量使用自然疗法(在西方顺势疗法为主要的有机养殖动物病害防治办法),在不得已时才可使用化学药物。有机农业禁止使用化学合成药物进行疾病的日常治疗和预防。根据 IFOAM 标准,动物的运输与屠宰过程应平静和温和,要尽量减少对动物的胁迫和痛苦。每一动物在流血死亡之前要使其处于无知觉状态。

在欧美,很重视动物福利问题,这不仅是追求高质量的食品,更重要的是一种生态道德观、文明观的体现,体现了人类对生命的重视与珍爱。作为有机养殖者,要逐渐培养这种观念与意识。

(7)生产高品质的食品

生产高质量的营养健康食品是有机农业的根本目的之一。有机农业生产中不使用化学合成的农药,因此,产品中农药残留就降低到最低限度;有机农业耕作中施肥水平较低,因此,产品中硝酸盐含量也就较低。更重要的是有机食品生长于健康的、充满生命活力的土壤。

有机农业的创始人之一拉什(Rush)医生,就是从天然食品有益健康的角度出发而提出发展有机农业的。另外,为了保证有机产品的质量,不仅要求生产过程按有机农业的要求进行操作,在产品的加工、包装、运输、储存及销售过程中都必须注意保持有机产品质量的完整性,避免破坏食品的营养物质和受到有害物质的污染。因此,有机生产提倡尽可能减少不必要的加工,以免破坏产品的营养成分,如在日本,部分有机大米就只进行初加工,销售棕色 的“五分米”,而在欧洲,有机食品消费者更钟情于新鲜蔬菜水果和“黑面包”。

在我们实际生活中,来自农村的“土鸡”,“土鸡蛋”味道特别好,用有机肥生产的蔬菜、水果味道鲜美纯正,就是有机产品是高质量的食品的有力证明(注:此指“土鸡”的生长方式与有机鸡养殖要求相似)。

(8)禁止使用基因工程品种及其产品

基因工程品种是指用人工方法将一种生物的基因整合到另一生物基因中,从而形成的具有特定性质的品种。因基因工程导致的生物基因变化不是自然发生的过程,故违背了有机农业与自然秩序相和谐的基本宗旨。而且,许多科学事实已证明基因工程品种对其他生物、对环境和对人身体健康造成的影响,另外,基因工程品种还存在着潜在的、不可预见的破坏自然生态平衡的影响,以及伦理道德危机,宗教信仰危机。因此,有机农业坚决反对应用基因工程品种及其产品。其实,在许多国家,对常规食品也要求基因工程的食品必须有明文标识,以便于消费者进行选择,而且欧盟国家、日本、韩国等都制定了限制转基因农产品进口的规定。我国消费者协会也在呼吁对转基因产品进行标识,农业部已签发行政命令,要求从 2002 年 3 月 20 日起,含有转基因成分的大豆、番茄、棉花、玉米、油菜等 5 种农作物及其产品(如大豆油)需标明转基因成分才能加工与销售,让消费者有知情权与选择权。

17.4.4　有机农业生态工程的概念(Ecological Engineering Concepts of Organic Agriculture)

(1)生态工程概念与内涵

生态环境是指整个生物群落所在地段的,影响其发生发展的全部无机因子和有机因素的总和。生态系统(ecosystem)是在一定的时间和空间内,生物群落与环境之间由于不断进行物质和能量流动过程中形成的统一有机体。工程是指人类在自然科学原理的指导下,结合生产实践中所积累的技术,发展形成包括规划、可行

性研究、设计、施工、运行管理等一系列可操作、能实现的技术科学的总称。工程的核心是设计,关键是自然科学原理与生产实践的结合。那么,什么是生态工程?马世骏教授 1986 年指出:“生态工程是应用生态系统中物种共生与物质循环再生原理,结合系统工程最优化方法,设计的分层多级利用物质的工艺系统。生态工程的目标就是在促进自然界良性循环的前提下,充分发挥物质的生产潜力,防止环境污染,达到经济效益和生态效益同步发展。”王如松教授提出:“生态工程是一门着眼于生态系统持续发展能力的整合工程技术。它根据生态控制论原理去系统设计、规划和调控人工生态系统的结构要素、工艺流程、信息反馈关系及控制机构,在系统范围内获取高的经济和生态效益。不同于传统末端治理的环境工程技术和单一部门内污染物最小化的清洁生产技术。生态工程强调资源的综合利用、技术的系统组合、科学的边缘交叉和产业的横向结合,是中国传统文化与西方现代技术有机结合的产物”。可见生态工程中的生态是指生态系统,不是指生态环境(实际上生态系统包含了生态环境)。生态工程简单地可概括为生态系统的人工设计、施工和运行管理。它着眼于生态系统的整体功能与效率,而不是单一因子和单一功能的解决;强调的是资源与环境的有效开发以及外部条件的充分利用,而不是对外部高强度投入的依赖。这是因为生态工程包含着有生命的有机体,它具有自我繁殖、自我更新、自主选择,有利于自己发育的环境的能力,这也是区别一般工程如土木工程、水利工程等的实质所在。

从理论上讲,生态工程主要包括三个方面的技术。一是在不同结构的生态系统中,能量与物质的多级利用与转化。包括:自然资源如光、热、水、肥、土、气等的多层次利用技术;生物产品的多级利用技术,是指人类通过设计和建造优质、稳定的生态系统,使非经济生物产品(如枯枝落叶、草类、动物排泄物,通过各种途径返回自然界)通过人工选择的营养级生物种群,转化为经济生物产品(如木材、粮食、肉类,是可为人类直接利用)的技术,如“桑基鱼塘”就是这种技术的体现。二是资源再生技术,就是通常所谓的“变害为利”技术,即把人类生活与生产活动中产生的有害废弃物,如污水、废气、垃圾、养殖场的排泄物等污染环境的物质,通过生态工程技术,转化为人类可利用的资源。三是自然生态系统中生物群落之间共生、互生与抗生关系的利用技术,即利用这些关系达到维持优化人工生态系统的目的。

(2)有机农业生态工程的概念

有机农业强调物质的循环使用,强调多样化种植和种养结合,资源的充分利用,以及有机食品市场的开拓,包含有强烈的生态工程的意识。但定义有机农业生态工程还是第一次,其概念可初步描述为:有机农业生态工程是农业生态工程的一种形式,是根据生态学、生态经济学和工程学的原理,运用生态农业的技术成果和有机农业的生产标准相结合的有机农业模式。以期获得较高的系统综合生产力和较好的经济、社会、生态效益的农业工程系统。

有机农业在我国只有近 10 年的历史,采用的概念以美国给有机农业的定义为主,即有机农业是一种禁止使用人工合成的农用化学品的生产方式,在生产过程中,在最大的可行范围内利用作物轮作、作物秸秆、牲畜粪便、豆科作物、绿肥和农场以外的有机废弃物为作物提供养分和保持土壤肥力与耕性,通过生物防治的方法防治病虫草害的发生。在这个概念的指导下,很容易使人们只是对照有机农业的定义与标准进行生产,寻求农业、生物、物理的措施来解决病虫草害的问题,用有机肥替代化肥,用生物、物理防治代替农药,却很少像生态农业一样进行总体的规划与设计,还没有形成种养结合,各种资源多层循环利用的模式,以至有机生产系统的综合生产力不高,系统的经济效益完全依赖于产品的高价格,一旦没有获得较好的价格,经济效益就低,从而挫伤有机生产者的积极性,尤其在转换期。

可以说,在我国有机农业发展的 10 年历史中,都是学习国外有机农业的一个过程。由于国家之间的环境、资源及经济发展状况不同,有机农业也应有不同的发展模式。因此,在学习国外有机农业经验,掌握了有机农业精髓的同时,应该根据我国的实际情况发展中国的有机农业。以农业生态工程的原理来指导有机农业生产,发展有机农业生态工程,就是要突破当前有机农业综合生产力相对较低,成本较高,有机农业效益过分依赖有机产品价格的缺点,把我国生态农业的成就结合有机农业的原则与标准来发展具有中国特色的、可持续发展的有机农业模式。

(3)有机农业生态工程的研究内容

有机农业生态工程包括两个层次的意义,一方面,有机农业开发的过程,即从基地选择到有机产品的销售就是一个系统工程,另一方面,在有机生产基地建设上,要通过人工设计,形成优质、高效、稳定的复合生态系统,以使自然资源得到充分的利用,达到系统综合生产力提高的目标。其研究内容包括四个方面:

①基地的总体规划与生产模式研究。有机农业基地要建设成为一个综合的生态工程系统,必须在对基地进行环境、经济、社会和技术的调查和综合分析,在认识现有生态系统的基础上,借鉴生态农业的工程模式(如立体种养,种养结合,物种间互惠共生,有机物多层次利用等),结合有机农业生产标准,设计有机农业基地的工程体系。另外,在规划中,还要从系统工程的角度,设计基地的建设步骤与经营操作模式,使基地能够真正实现经济、生态与社会效益相结合。

②有机农业生产技术研究。有机农业不使用人工合成的农用化学品,而是提倡使用生态防治技术,采用健康栽培的措施来防治病虫害,循环使用各种生物有机废弃物,种植豆科绿肥来培肥土壤。因此,有机生产基地的多样化种植和整个基地生态环境的设计,作物轮作与间作套种,有机肥的合理使用,秸秆还田技术,病虫草害的防治等关键技术是有机农业生态工程研究的重要内容。

③有机农业的推广。有机农业作为新兴的可持续发展农业模式,不仅关注技术、市场等自然、经济因素,还牵涉到环境保护、道德标准、社会公正问题等系列社

会因素。因此,有机农业推广作为有机农业生态工程的组成部分之一,其推广的内容、方法与形式与常规的农业推广不同,需要从新的视角进行研究。

④有机农业产业化经营。有机农业生产经过认证机构认证后,其生产的产品就可打上有机认证标志在市场上销售。可以说,有机产品是一种具有特殊身份的产品,如何使其进入目标市场,使消费者接受,并实现其较高的经济价值和经济效益,就必须实行产业化经营,并建立有机产品营销的专门策略,这也是有机农业生态工程与其他农业生态工程的不同之处,是需要研究的重点。

17.4.5 自然农法或自然农业(Natural Agriculture)

近代的科学农法虽然给人类带来了文明和进步,但是也存在着严重的缺陷和弊端。日本著名哲学家和农学家福冈正信先生[①] 依据中国道家的"自然无为"哲学,在否定科学农法的同时,也提出了自然农法的构想。他在几十年的农业实践中,使这一伟大构想获得了人们意想不到的成功,亩产竟达八百斤乃至千斤以上。下面对他的思想作一介绍。

1. 自然农法是对科学农法的否定

福冈正信依据老子的"自然无为"思想,不但猛烈地批判了正在危害着人类生存环境的近代科学农法,而且也揭露了由此而产生的那种违反生命规律本质的现代工业文明。他设想的"自然农法"是作为近代科学农法的对立物而提出的。

福冈正信毕竟是一位哲学家,他比一般的农学家更为高明。他以敏锐的眼光透过近代科学农法所取得的辉煌成就和它对人类文明的巨大贡献,发现了科学农法的失误和弊端,证明了科学农法并不是完美的和万能的。

(1)福冈认为,近代的科学农法是一种浪费型的农法

现代农业获得高产,主要靠多施化肥,多用农药,勤于机械作业等技术,但是,实际上这些手段并不是真正积极的增产措施,而只是一种消极的预防减产的办法。

实践证明,施用化肥只是在土地较瘦弱的情况下,即每亩产量不超过五、六百斤的情况下,其增产效用较大;一旦亩产达到八百斤左右,增施化肥在大多数情况下产量反而下降,只是在预防减产的范围内有一定效力。这较之利用既便宜、又安全可靠的自然肥料(如绿肥、家畜粪等),是一种愚蠢的浪费。即使在一定范围有一定的增产,施用化肥也弥补不了近代农法的掠夺性的糟蹋土地的根本缺陷。一旦

---

① 福冈正信1913年2月出生于日本爱媛县伊予市太平。1933年毕业于歧阜高等农林学校农学科。毕业后曾在冈上县立农事试验场、横滨海关植物检验科、高知县立农事试验场等地工作。这期间,他研究了自然的本质,提出了自然农法的设想。1947年归农以来,一直专心致力于自然农法的研究与实验。在总结自然农法的基础上,著有《自然农法》一书。

土地结构和自然力遭到破坏,其恶果必然是减产,与其增产愿望适得其反。

一年之内,多次在田地里撒放剧毒农药,虽然有消灭害虫的作用,但它对自然生态系统的破坏则是惊人的。比如现在日本的水田里每年施用剧毒农药八次以上,其结果与一次农药都不施用的田块相比,病虫数量大体相等。第一次施用农药,使大量浮尘子和蜘蛛死亡,草丛中的萤火虫也突然消失。第二次施药,杀死了害虫天敌小蜂虻、蜻蜓的幼虫及蝌蚪、泥鳅等,这是一种多么愚蠢的行动啊!再比如,给苹果和温室草莓喷洒剧毒农药,固然杀死了许多害虫,但是将传播花粉的昆虫蜜蜂和虻全部消灭了,取代蜜蜂的是人类自己采集花粉,进行人工授粉,其苦无穷,这岂不是一种令人啼笑皆非的蠢事吗?以人类自己的辛勤劳动取代无数动物、植物、微生物本身所起的作用,这不是一种徒劳无益又是什么?农药并非是万能的,只是在作物发育不正常的情况下,才有一定的效用。一旦作物生长正常,使用农药非但无效,反而减少收益,害处极大。

有一种错觉,认为每年用农机具翻耕土地,能使作物生长良好,达到增产的目的。其实,这只是看到了使用农机具的暂时效果,而忽视了长期使用农机具会使土壤恶化,破坏土壤结构,危害农作物生长,导致减产减收的恶果。农机具只有在大面积急用的情况下,才能发挥一定作用,它并不是完美无缺的,更不是万能的。

福冈认为,近代科学农法的高产技术,只是一种防止减产措施。自然界的循环是经久不息的,丝毫也不存在什么浪费。大量使用机械、化肥、农药,使农民远离自然,企图依靠人类智慧进行农业生产,达到高产之目的,总是不完善的,其财力、人力的浪费总是惊人的。从根本上说,科学农法是一种浪费型的无效益的农法。

不但现代农作业是一种浪费型,现代畜业、渔业也是一种浪费型。在原野中饲养短腿长尾地鸡,平均两天产一小蛋,看起来似乎生产率很低,实际上,一年每只鸡多次孵雏,能增加到 10～20 只。这样计算一天产蛋比白色莱克亨鸡多几倍,而且这种鸡自己觅食,自给自足,确是生产率较高的鸡种。笼养白色莱克亨良种鸡,每天产大蛋一个,产量很高,但是为要产出这么多蛋,必须投入相当于回收鸡蛋两倍的能量(谷物饲料),还要投入大量的人力和设备。花费在这方面的劳动相当于种粮食的五倍以上,从根本上是不合算的。圈养大量猪和牛,不但需要大量的价格昂贵的精饲料,而且使人们从早到晚精心喂养,清扫粪尿,人类的辛苦程度比取食谷类要高十倍。为了饲养肉食动物银狐,需要提供十倍的兔子作饵料;为了饲养兔子,需要十倍的草作为兔子饲料。得到一张银狐皮,所浪费的能源是惊人的。福冈认为,致力于近代人工养鱼业也是一种得不偿失的渔业。它不但使海水遭到严重污染,使原来盛产鱼类的渔场变成一片死海,不利于保护海洋环境,而且人工养殖高级鱼类,是以数倍的小鱼作为饵料,从长远观点看,这也是不合算的。

(2)近代科学农法在产量方面是有限的,在质量方面也是有害的

在福冈看来,人类企图依靠科学力量制造合成食品,其前途是险恶的。在温室

环境和人工控制下,生产出来的甜瓜也许色鲜味美,生产出来的西红柿也许又大又红,黄瓜又脆又嫩,非常适口。人们在大城市中心搞大型建筑农法(如利用大楼生产稻米和蔬菜等),也许可以吃到味香的大米和新鲜的蔬菜。人们正在仿照动植物细胞中的蛋白质构成,制造出人造肉;用石油制造奶油和干酪。但是人类不食用自然粮食、蔬菜、水果而取食人造食品,其结果如何呢?实践已经证明,取食这些不完全的质劣食品,不但增加了人类的劳动和生产资料的负担,而且吃人造食品生长发育的人,体弱多病,身体素质较差,不利于人类的健康。只有取食于自然食物而养育的人,才是正常发育生长的人。

(3)从客观上看,科学农法破坏了自然界的生态平衡,给人类的生存环境带来了极大危害

福冈依据老子的循环论思想,认为地球是一个动物、植物、微生物共同构成的统一体。它们之间既有食物链,也有物质循环,处于反复不断的、不生不灭的运动之中。作为生物统一体的自然界,是不允许人们依靠自己的主观臆断来任意分割、解释和改造的。一旦人类插手于自然,就会对大自然的生物链条造成严重破坏。比如,科学家只知大力开发灭鼠剂捕灭老鼠,但是,他们在灭杀老鼠的同时,也使黄鼠狼和蛇减少。只着眼于灭鼠,却忽视了研究老鼠开始繁殖的第一个原因是由于自然界失去平衡所造成的。只有恢复自然界的平衡才能从根本上解决问题。不从根本上把握自然界的这个有机的生物圈,单靠人类的智慧乱捕乱杀,只能加速造成自然界的混乱。人们为了栽种大量价值较高的杉树、松树,往往砍伐山林杂木。但是,随着山林杂木的砍伐,使小鸟的饵料减少了。小鸟减少后,天牛大量繁殖。天牛是线虫的传毒媒介,线虫能使松树枯萎。松树枯萎后,山白竹增生。矮竹茂生后,老鼠便大量繁殖,老鼠反过来咬食杉木苗。由于自然秩序和生态平衡的破坏,使生命和物质失去了应有的机能,而最终将导致人类自身的毁灭。所以,人类最好不要插手于自然,而应采取无意、无为、无策的态度。否则人们只能在繁忙、徒劳、混乱之中奔波,逐步失去生活的乐趣和人生的价值。

福冈对近代科学农法进行了深刻的反省之后,认为现代农业是一种病态农业。在对科学农法的否定过程中,依据老子的‘自然无为’思想,逐步地萌生了他的自然农法。他说:“我的专业是植物病理,从岐阜高等农业学校毕业后,先后在冈上农试场、横滨海关植物检疫所等地工作过。我的脑海中突然想起这样一个问题:‘所谓人是什么?’人生价值是什么?反复思考的结果,我开始考虑‘无为’的哲理。从这一哲理出发,逐步产生了今天的自然农法。”(《自然农法》)又说:“自然农法是基于‘无为’的哲学观点,主张还原于任其自由的自然。自然农法的实践将解决科学农法所暴露的一切弊端。”(《自然农法》)在福冈看来,未来的农业必将以自然农法代替科学农法,这是不依人类的主观愿望为转移的客观规律。

2　自然农法的基本理论

什么是自然农法呢？福冈曾扼要地指出:“自然农法是自然之道,无主观的省力之道。‘什么也不要干’,这是自然农法的出发点和归宿,是手段,也是通向幸福之路的富民之道。‘什么也不要干’是稳操胜券的不败农法。不耕地、不施肥、不用农药、不除草,是自然农法的四大法则。”(《自然农法》)他又进一步解释说,“自然农法具有节能、省本、高产、无公害、土地越种越肥等优点,这一切都是科学农法无可比拟的。其经验归结到一点就是‘无’字,‘一切无用’论,即不耕地、不施肥、不除草、不用农药。”(同上)

福冈把他倡导的自然农法列图 17.10。

图 17.10　自然农法示意图

(1)不耕地(免耕)论

福冈所以提倡不耕地论,主要有两方面的原因:一是用农机具耕地降低了地力(肥力)。在福冈看来,中耕固然可以起到一时松土透气的作用,但从大局看,中耕破坏了表土结构,加剧了水土流失,破坏了土壤团粒结构,不利于保水保肥;耕锄越勤,则土粒越细,孔隙越少,土壤越板结,降低了肥力。再加上耕锄破坏了草皮,致使土壤腐殖质欠缺,封闭了微生物的通道。二是土壤本身具有自耕能力,无需人来干涉。人们在大自然界发现,未经耕地的森林树木长得挺拔高大而茂盛,而多次耕耘过的‘熟化土壤’却只能培育出矮小的农作物,这是什么原因呢？原来是人类依靠农机具耕地深度只有 10～20cm,而绿肥和 杂草的根深可达 30～40cm 以上,随着根系扎深,水、肥可渗进下层;根系死后,又增加了土壤的腐殖质,促进了微生物

的繁殖和土壤结构的形成,土壤便变得松疏,使土壤越来越肥沃。自然界的森林土壤所以能够使幼苗长成巨木,主要靠自然力量本身,靠土壤中的蚯蚓和鼹鼠等承担起改善土壤和耕耘土壤的重任,这比单靠人为手段不知要强多少倍。

(2)不施肥论

这里所说的不施肥论,主要是指不施化肥(如过磷酸钙,硫酸铵,硫酸钾等)。这需要从两方面来说明:一是施撒化肥害处无穷。在福冈看来,在特定的条件下和有限的范围内,施用化肥虽对作物生长有一定作用,但从全局看,其害无穷。他认为,土壤并不是死的矿物质,而是活的类生物体。一般旱田 1g 土壤栖息着一亿以上的霉菌、细菌、酵母菌、藻类等微生物,这些微生物以各种形式生存、斗争、共生,并参与大自然的物质循环。一旦施用化肥,就会杀死大量的土壤微生物,使土壤发生混乱,导致作物生长的软弱化。而软弱的植物体,必然降低其抵抗性,易罹病虫害和发生生理障碍,带来无穷祸害。施用化肥的另一个危害是导致微量元素的欠缺。旱田土壤中各种肥料之间的相互作用是极为复杂的,对氮、磷的吸收,由于土壤中缺碘而受阻;增施石灰,使土壤变成碱性,锌、锰、硼、碘等便难以溶于水中而引起欠缺;钾肥一旦施用过多,硼就会明显减少;氮、磷、钾施量过多,锌、硼就会缺乏。总之,某种化肥施用过量,其他化肥效果就会降低,某种化肥一旦欠缺,其他肥料再多也是无用。三是土壤本来就勿用施肥。地球表面的岩石,经过风雨而形成土坡,栖息着微生物,杂草丛生,巨木繁茂,使土壤变黑,成为肥沃的土壤。若把洋槐、杉树和扁柏混种,发挥根系微生物的作用,枯枝落叶增加了土壤的腐殖质和微生物,促进了土壤团粒结构的形成,提高了土壤肥力,从而加速了杉、柏等林木的生长。相反地,人们耕种的土壤,尽管年年增施大量化肥,土壤却越来越瘦。这一事实说明,土壤本身就具有自生的肥力。企图依靠人工施肥而促使作物生长的想法是根本错误的。

(3)不除草论

在自然界,从人的眼光来看,所谓杂草是相对于某种农作物而言。其实,从自然观点来看,各种草类都有其生存的价值,是无所谓杂草的。有作物就必有杂草,这是天经地义的事。各种作物与杂草之间是共生共荣的关系,如在茂密的群体森林中,上有乔木,下有灌木,灌木之下有杂草,杂草之下又有苔藓,它们之间形成有机的合理的生态结构,共生共荣,构成一个立体的生物圈。

所谓不除草论,换言之,即是杂草有用论。如果地上不长杂草,也就不可能形成肥沃的土壤。草根深扎于土壤中,不但能使土壤变得疏松,而且草根死亡后又增加了土壤腐殖质,促进了微生物的繁殖,繁殖了蚯蚓和鼹鼠,肥沃了土壤。如果地上不长杂草,就会招来风蚀、水蚀,造成水土流失恶果。即使是很小的缓坡,每年的土壤流失量也可达每亩几万乃至几十万斤,几十年后,表土被冲走,地力全部丧失。农田沙漠化和滑坡现象的主要原因,就在于此。

人们总想通过使用杂草剂除去杂草,但是使用除草剂的结果,不但锻炼了原有杂草的抗药性,而且产生了能抗除草剂的新型杂草的蔓延,必将使人们再开发新的农药,使除草陷入恶性循环的困境。

从原则上说,杂草虽说是有用的,但当杂草过于繁茂而影响作物生长时,也可除去。从自然农法看,应采取有杂草与无杂草相结合的两种方式。自然界有多种杂草,彼此之间是相生相克的。人类完全可以利用一种杂草而驱除其他杂草,从而达到“以草除草”的目的。采用草生栽培和绿肥栽培方法,不但可以免去除草作业,而且可以防止水土流失。例如把麦子和三叶草同时播在稻田,或在麦行间播种稻子和绿肥,均可使稻麦生产向着有利于生长和提高产量的方向发展。实践证明,这种稻麦不除草栽培的直播法,其产量可与普通栽培法相匹敌,是完全可行的。

(4)不用农药论

所谓益虫与害虫,是从人的利益着眼而作出的价值判断,从自然观点看,是无所谓害虫的。

人类面对着农药公害日益严重的现实,正在寻找新的防止病虫害的途径和方法。一般是从利用天敌和开发低毒农药两方面着手。开发对人、畜、农作物无毒害、对自然环境无污染的新农药,虽说有利于局部的眼前的利益,但是人们从未想到,采用新农药将一种害虫灭绝后,将会引起怎样的后果,将会受到大自然怎样的报复。利用飞机在森林中喷洒农药,虽然消灭了某种害虫,但是却破坏了自然生态平衡,造成了公害,潜伏着极大的危险性。如喷洒杀菌剂,虽说杀死了植物的黑斑病,同时也杀死了分解落叶的许多微生物和细菌,使枯枝落叶得不到分解,直接影响松树的生长。使用农药防除白菜、萝卜的细菌性软腐病,虽一时可减轻病害,但经一、二年之后,由于在杀死软腐病菌的同时,也杀死了抑制软腐病发生的其他病菌,反而使软腐病更加猖獗。由于喷洒了各种杀虫剂,杀死了栖息于土壤中的各种细菌和微生物,造成自然生态平衡的破坏。因此开发低毒农药也是一种不明智的行为,至多只能算是一种权宜之计。

在排除了低毒农药途径之后,福冈主张“以虫治虫”,即利用天敌来消灭害虫。在他看来,田间的小动物世界,是一个极为复杂的有机统一体,有害虫存在,就有害虫的天敌存在,保持着田间生态平衡。病虫害只是在自然秩序遭到破坏时,为了恢复自然平衡,大自然所采取的自卫对策和协调措施。自然界发生的病虫害,自然本身自有解决的办法,无需人来插手。例如在日本爱媛县水稻田里最大的害虫是飞虱,如何消灭呢?福冈采取“以虫治虫”方法。他经过多年的研究和观察,发现虻、蝗虫、青蛙可以抑制飞虱的蔓延,特别是蜘蛛是飞虱、叶蝉之类的理想天敌。所以福冈在自己的农田里不使用农药防除病虫害,而采取用麦秸覆盖水田,使害虫天敌有很好的栖息环境。在他的农田上空有成群的蜻蜓在飞翔,稻丛中有成群的蝗虫和青蛙在跳跃,夏天蜘蛛比一般农田多十倍甚至几十倍以上。正是由于这些天敌

的大量存在,使它与相邻经过多次的农药治虫处理的田块相比,害虫数大体相等。可见,“以虫治虫”是一条既省力又能防除病虫害的理想途径和方法。

根据中国道家的自然之道,福冈除了在农作物领域实行上述四大原则外,还主张以自然果园代替科学果园。所谓科学果园,是以除草、中耕、施肥、整枝等作业为基本内容的管理体系。福冈依据道家的“自然无为”的哲学思想,主张以还原于大自然为前提的自然果园,即主张采取不除草、不整枝、不施肥的方法,将果树芽苗培育成接近自然本来状态的树形,促使果树生长,获得丰收。他认为,在果园里,采取除草、施肥、整技等作业,非但无益,反而使土壤变差,树木生长不协调,降低了抗病力,加剧了病虫害,又不得不进行人工整枝和使用剧毒农药,撒施大量化肥,造成恶性循环,其苦无穷。换言之,施药反而增加了病虫害;整枝促使了树木生长混乱;施肥导致果园产生缺素症等,这是科学果园的弊病所在。因此,福冈抛弃科学果园的管理体系,主张在果园里种植三叶草、紫花苜蓿和刺槐等作物,这些作物不但能使果园杂草绝迹,依靠生物的力量,进行土壤改良,使死的、无机化的土壤变为活的生物化的土壤,而且可以保护天敌,预防介壳虫、壁虱之类害虫的发生。由于天敌七星瓢虫和寄生蜂的大量存在,无需喷洒剧毒农药,也能有效地防止果树病虫害。他认为,果树整枝是没有必要的,因为只要果树第一次被修剪枝后,便会始终处于混乱状态之中,造成整个果木的生长失调,势必会有大量的弱枝、枯枝发生,不断地修整又不断地产生,造成恶性循环。因此他主张抛弃远离自然的复杂化的整枝作业,采取恢复果树自然形的矫正方法,即在果树栽培之初,将树形稍整成最接近于自然树形的样子即可。在上述思想基础上,福冈提出了“立体式自然果园”的构想。根据不同场所,将落叶果树、常绿果树和肥料树(同时混植有制造氮肥的豆科植物刺槐和制造磷肥、钾肥的山桃树、赤树等)混植,避免栽培单一树种,同时在这些树上缠绕蔓性的葡萄、野木瓜等水果。在果树下可以种植豆科绿肥,种植有利于土壤肥沃化的各种杂草、种植牧草或野草化的蔬菜,也可以放养家禽和家畜,既可啄食害虫,又可增施家畜粪。这是一种理想的自然果园的构想。

依据道家的自然之道,福冈进一步提出以自然畜产代替现代畜产。在他看来,采用圈养或笼养,在自然饲料中加进维生素、营养素、防腐剂、抗生素、嗜好增进剂,以及使用各种有毒药品,大量饲养鸡、猪、牛、羊等家禽家畜,所生产出的蛋、肉、奶,牛肉不像牛肉,鸡蛋不像鸡蛋,奶不像奶。肉、蛋、奶只不过是完全饲料的变种,牛、羊、鸡、猪只不过是制肉、制蛋、制奶机器罢了。通过这种肉、奶、蛋,把有毒物质转移到人体内积累起来,是非常有害的。这较之通过自然放牧而获取的肉、奶、蛋,无论就其质量和产量,都是无法比拟的。他认为最理想的畜牧是自然放牧,即在果园树下播种三叶草、蔬菜、麦子,饲养地鸡和兔子,在水田内任家鸭和野鸭游玩,在山脚下和山谷里有猪寻找虫子、蚯蚓和喇蛄虫;在密林的草丛里,任山羊在岩石露宿;在杂木林中可以饲养牛。这样的自然畜产,既不会造成环境污染,又能使禽畜与自

然融为一体,构成一个有机的共同体,是最为省力、最为理想的畜产之道。

3. 自然农法与道家哲学

上述自然农法的基本理论,是以中国的道家哲学为其世界观根据的。对于这一点,福冈自己明确地指出:“自然农法基于‘无为’的哲学观点,主张还原于任其自由的自然。”(《自然农法》)又说,与科学农法不同,“自然农法则是一切手段无用论,要求人们真心实意地去亲近自然,放弃一切人为手段,以自然取代人为,这都是基于自然农法的哲学观念。”(《自然农法》)

(1)在自然观上,老子认为‘道’的运动是循环而不息的

“道之动”(《老子》四十章)“周行而不殆”(《老子》二十五章),正是这一思想的经典表述。福冈根据老子的这一思想,认为大自然是一个无限循环的整体,是一个有机的生物圈。在他看来,宇宙间的事物,从个体的角度或者一般人的眼光看,是有生有灭的。生物之间既是共存共荣的关系,又是弱肉强食的关系。然而,从群体角度或者从超时空的观点看,大至宇宙世界,小至微生物世界,直至极细微的、构成原生物和矿物的原子、电子世界,都是按照它们固有的原则、轨道而反复进行着无限循环的运动。地球上的生物大体可分为动物、植物和微生物。不同生物之间处于不间断的循环运动之中。动物靠植物而生存,动物每天排泄的尿粪以及动物死后的尸骸还原于大地中,又成为小动物和微生物的粮食,生活于土壤中的微生物死亡后被植物根系吸收转变为植物的养分。微生物之间存在着食物连锁关系,霉菌的菌体(菌丝)纠缠成一团,有溶解其菌体的霉菌,有抑制霉菌的细菌,细菌吞噬菌体,病毒侵蚀细菌和霉菌,也有抑杀病毒的病毒。病毒、细菌和霉菌寄生于动植物体内,危害动植物。动物之间也是不间断的连锁关系。蜘蛛吃螟虫和浮尘子,壁虱吃蜘蛛,瓢虫吃壁虱,蠼螋吃瓢虫,蝼蛄、蜈蚣吃蠼螋的卵,麻雀吃蜈蚣,蛇吃鸟,鸢、狗、人类吃蛇等。大自然是无限的连锁关系的生物圈,保持着均衡与正常秩序。福冈明确指出:“我所提倡的自然农法,就是从自然是一个整体这一基本观点出发的。”(《自然农法》)如果人类以自己独具的智慧和行为(比如施洒农药、化肥,使用农机具等)打乱自然界的这种正常秩序,势必造成大自然循环的混乱,给人类生存带来灾难。所以,人类插手自然,干涉自然,是一种不明智的行为。

(2)在认识论上,老子反对理性主义,提倡直觉主义

他认为‘道可道,非常道;名可名,非常名’(《老子》一章),即认为作为万物之本的‘道’本是不可言说不可名状的,亦即不可能通过‘为学日益’的正常的理性途径来把握的。既然正常的理性途径不能把握‘道’这一世界本质,那么只有依靠‘为道日损’(《老子》四十八章)的途径。什么是‘为道日损’呢?在老子看来,人心如同一面玄妙的形而上学镜子,能够洞察、直觉一切事物。只是由于人心之欲如同镜上的尘垢,只有将人欲‘日损’之后,才能通过人心这面‘玄镜’直接地把握道之本质。

所以,老子说:“涤除玄览,能无疵乎!”(《老子》十章)就是这个意思。

福冈依据老子的直观(直觉)主义的认识论,极力反对以理性主义为基础的科学方法;在福冈看来,科学方法需要经过四个阶段,即将感性认识的事物加以分类、观察、研究;根据主观判断和推理,确立某种假说,上升为理论;反复进行类似的实验和积累类似的经验,从得出的共同结果中,发现一种原理、原则;把这种归纳性实验结果应用于实践中,当证明为正确无误时,便确定为科学真理。福冈不同意这种人类认识世界、发现真理的方法,认为依靠这种理性方法所获得的真理不是普遍的绝对的真理,也就是说,不是完全的知识,只是局部的不完全的知识,不能从本质上、整体上把握世界。他认为,一切自然现象如同电影的胶片一样,是连续性的,只是自然这种胶片不是直线、平面的,而是立体的、有机的因果关系。从局部性看,自然现象是有原因有结果的;从整体性看,一种自然现象不过是自然运动中的一个环节,它既是结果也是原因。在自然界,因果关系是不存在的,好像是一个无限的圆环。作为统一整体的自然界,是不允许人们靠自己的主观来任意分割、解释的。解体分析的自然,已经失去自然的本来面目,只不过是死的、片面的、虚假的自然。“所以说,人类智慧是不明朗不完全之智,由人类主观认识而组装起来的自然,是不完全不自然的,是似是而非的产物,充其量只不过是自然的投影罢了。”(《自然农法》)人类智慧永远不能从整体上把握自然。福冈正确地看到了人类认识的相对性,这是可贵的。基于人类认识的相对性,他主张直观主义。

福冈以水稻研究为例,对科学农法的归纳法和演绎法作了分析批判。在他看来,目前科学农法是‘从归纳研究出发,由一般命题导出特殊命题的演绎性推理。”(《自然农法》)农学家从不同角度进行归纳之后导出了一般命题。为研究新品钟,认为改换新品种可增产 10%;研究耕作方法,认为改进耕作方法可增产 10%;研究施肥技术,认为改进施肥方法可增产 10%;研究病虫害,认为防除病虫也可增产 10%。但是在一块田里综合实施这种措施之后,如能增产 2%～10% 就很理想了;1+1+1+1 为什么不等于 4,而等于 1 呢?其根本原因是科学方法的失误所致。这如同拼凑镜子一样,把镜子弄碎后,即使拼凑得再好,甚至达到以假乱真的程度,终究不可能超越原来的镜子。以局部的相对的认识分析自然,将自然搞得支离破碎,以此来达到改造整个大自然的目的是必然要失败的。

在他看来,自然农法优于科学农法。“自然农法首先靠直观推理,设想出理想的稻作,推敲理想稻作的实施具体办法。”(《自然农法》)自然农法不是以人的欲望和追求为目标,而是抛弃自己,与自然合为一体,亲近自然,服务自然,归顺自然。只有站在无私无欲的立场上,相信依靠自然力量可以使人的欲望得到满足,才能真正享受到来自自然的幸福。

要想获得高产,自然农法不是采用科学的归纳法与演绎法,而是要依靠能够准确地把握大自然本质的‘直观性推理法”。正像婴儿依靠眼睛直观事物,他们虽不

会区别事物,但所看到的自然是一个统一的有机体,从而能够获得统一整体的智慧。自然农法强调以直观为基础,以把握性设想为依据。在出发点上,注意超越眼前事物现象而真正把握大自然的本质。出发点在哪里呢?如果像科学农法那样,把稻作上的耕作、育秧、移栽等作为基本出发点,那就会犯极大的错误。福冈在《自然农法》中指出:“我认为,必须从自然事物中(实体中)抓住出发点。然而,从哲学观点看,那种自然的实际状况和实体,人们是不清楚的。人们用相对的观点分析把握它,将现象界的自然视为真正的自然,将早晨作为一天的起点,将发芽作为生长的起点,将枯死作为终点,这都是人为的划分。自然是一个,既没有什么出发点,也没有什么终点,有的仅仅是万物在运动,也可以说什么也没有,自然的本质就是:‘什么也没有’。实际上,在这个‘什么也没有’的地方却存在着真正的出发点和终点。以自然为基础,将什么也没有作为出发点,同时作为归宿点。”站在脱离现实的‘无’的立场上来观察,目的就是还原于‘无’的大自然。

“所谓超越现实的世界,只不过是将现实作为人类进行认识之前的世界。人类之所以不可能看到近的局部,也不能认识远的整体,是因为部分和整体,本来就是不可分割的。唯有将两者统一起来,从‘无’出发到还原于‘无’,这就是自然农法。”科学世界的领域远远小于自然‘无’的世界,科学世界无论怎样扩展,也不可能达到无限的大自然领域。“无”的大自然本质,只能依靠‘直观性推理法’把握,而不能依靠科学的理性思维认识。科学农法与自然农法是建立在两种不同认识论基础上的。

(3)以老子为代表的道家学派主张‘道法自然’

在道家看来,道之本体及由它而派生的天地万物都是自然而然的,非人为而如是的。所以,人在自然面前应当采取‘以辅万物之自然而不敢为’(《老子》六十四章)的态度。福冈在回答‘是丝毫不加入人类智慧完全彻底的自然农法优越呢?还是加入人为的主观作用的科学农法优越?’这一问题时,明确地指出:“我数十年来,致力于与科学农法相对抗的自然农法的研究,在稻麦和果树栽培方面,都确信自然的力量,排除人类主观行为,实行无为政策,结果不论是生长还是产量,不论是暂时还是长远,也不论是局部还是全体,都证实了自然农法比科学农法优越,并从中更清楚地看到科学农法的缺陷和潜在危机。”(《自然农法》)又说:“科学农法是以自然的外因作为研究目标,而大乘自然农法则是什么也不进行的不战而胜的方法,彼此之间是相对立的。科学农法所采取的一切方法手段,往往是增加割裂自然的众多途径。自然农法则是一切手段无用论,要求人们真心实意地亲近自然,放弃一切人为手段,以自然取代人为,这都是基于自然农法的哲学观念。”(同上)在福冈看来,自然界是按照自身的本性运转的。为了取得自然平衡,总是通过相辅相成进行调节,形成一个有秩序有规律的统一整体。既然自然是一个统一的整体,如果把人为的因素强加到自然中,就必然使自然失去平衡,引起各种不良现象出现。例如,山

上的松树本是笔直的,枝条是有序地轮生,叶序也按一定的规则生长,枝与叶保持等距,永不交叠,均匀地获得阳光,茁壮生长。一旦将松树移至庭院,修剪造型,千姿百态,虽扭曲风雅,但已由自然型转成不自然型,枝条交叉重叠,稀密不一,通风透光不良,易染病虫害,本来是相辅相成的树枝变成了弱肉强食的激烈竞争。为了防止庭院松树枝条的混乱和竞争,每年都要进行精心的修剪,越修剪,紊乱的枝条就越多,就要投入更多的劳动力去修剪。树木如此,农作物也是如此,现代农业的一切措施都是按照人类自己的想当然设计出来的,什么耕地、播种、中耕、除草、防治病虫害等一切技术都是主观设想的。耕田是每年必不可少的作业,水田经灌水后反复耕耘,土粒分散,结构破坏,空气溢出,使土壤变得坚实。为了修补被破坏的自然状态,不得不进行中耕松土,其苦无穷。人类要想脱离这种无穷的苦境,唯一的办法是反其道而行之,即实行不要机械、化肥、农药,实行免耕直播,减少劳力和费用的自然农法。由此,福冈先 生作出一个结论:“真正的无为无策却是最上策。”(《自然农法》)这和老子说的‘无为而无不为’(《老子》四十八章)的哲学思想也是完全吻合的。

关于道家哲学与自然农法的关系,日本著名评论家革柳大藏指出:“与福冈先生的交谈中,他对深奥的《老子》学说解释得那样头头是道,正如《上篇·第一章(当为第二章——引者)》中所说的那样:‘圣人处于无为之事,进行无言的教诲。万物创而不辞,生而虚有’。福冈先生的农业观正是如此。”(《不主张农作的人》)革柳大藏先生的论断是极为准确和精当的。

17.4.6 从宏观看生态农业(Macroscopic Ecological Agriculture)

发展生态经济,将是新世纪的主要课题;发展生态农业,将是新世纪农业经济建设的主线。物质文明建设、精神文明建设、生态文明建设三个建设并重,将越来越被更多的人接受。下面我们从宏观角度以山西省为例来讨论一下生态农业的实践。

(1)农耕史的深刻反思

生态环境恶化,是人类对大自然掠夺性索取所结下的苦果,是历史性的沉重灾难。保护和改善生态环境,是功在当代、利在千秋的伟大事业,是一项历史性的艰巨任务。

最初,人类与大自然是‘和睦相处’的,人类以生态系统中的一员而存在。自从人类举起第一把农耕的镢头,生态环境便开始遭到破坏。农耕文明的历史愈久,生态环境的包袱愈重。从我国来看,黄河流域开发得最早,因而位于黄河中游的黄土高原是生态环境破坏最为严重的地区之一。黄河水患源于泥沙,泥沙源于黄土高原的水土流失。这是长期以来人为破坏带来的历史性灾难。据史料记载,黄土高原曾经是一个林草茂密、山清水秀的地方。位于山西境内的吕梁山,唐代曾辟为林

区,到明清时已残缺不全。其北的芦芽山,原来是“林木参差,干霄蔽日”,到明末已砍伐殆尽。晋北的雁门关与偏关之间“山势高险,林木茂密”,明代初期视为北方藩篱,但不到百年,山上的林木就“十去六七”。山西省兴县在明代嘉靖以前,“山木茂密,虽有澎雨积霖,犹多渗滞,而河不为肆”。其后由于植被被破坏,“诸峦俱童不毛,每夏秋降水峻激,无少停蓄,故其势愈益怒涌泪,至堤岸山崩”。北魏郦道元撰写的《水经注》称黄河为“河”,只是到了唐代以后才称之为“黄河”。当年,黄河两岸数十里之内“树木参天”,那时的黄土高原还是“绿色高原”,只是到了近代才变成荒山秃岭。陕西省榆林县春秋战国时乃是“天苍苍,野茫茫,风吹草低见牛羊”的天然牧草王国,现如今沙区竟占十之有七,与闻名于世的毛乌素沙漠接壤。

黄土高原还曾是一个水源富集区。据明末清初顾炎武《天下郡国利病书》称,“山西泉水之盛,可与福建相伯仲”,有的“平地涌出,其大三轮”,有的“泉出岩顶,悬流千尺”,有的“大旱不涸,隆冬不冻”。历史上的山西,以河川为名的竟有 88 县,以泉泽为名的有 21 县,兼以山水为名的有 4 县。这是“水源富集”的又一佐证。但到明清以后,由于森林大量消失,有的水量锐减,有的夏涌冬枯,有的断流枯竭,乃至出现今天“万泉无水”的境况。山西境内的汾河、滹沱河、文峪河,历史上均可载舟行船,两岸稻谷飘香,由于林木大量砍伐,水量日渐减少,当年的稻田大都变成了旱地。

黄土高原几经沧桑变迁,森林资源所存无几,植被遭到严重破坏,青山不再,绿水断流。每逢暴雨冲刷,泥沙俱下,汇入大河。是我们的祖先“创造”了“黄河”,给子孙后代带来了无穷的灾难。从公元前 602 年到 1949 年的 2500 多年间,黄河决堤改道和成灾达 1500 多次,涉及范围北达津京、南抵江淮,其危害之烈及由之而引起的社会动荡,史书不绝。黄河安危,事关重大。新中国成立以来,党和政府十分重视治黄工作,虽耗资巨大,但并未从根本上消除黄河水患。有些地方治理的速度仍然赶不上破坏的速度,生态恶化的势头并未得到有效遏制。据资料介绍,目前每年输入黄河的泥沙量达 16 亿吨之多,致使黄河下游河床每年以 10 厘米的速度淤积抬高,“悬河”越来越悬,溢、决、改道的危险与日俱增,严重威胁着淮海平原成百座城镇、近亿亩土地、上千万人口的生命财产安全。与“水患”为伍的另一个灾难性后果是“水荒”,即干旱。据史料记载,自商汤 24 年到唐高祖元年(公元前 1688 年至公元 618 年)的 2306 年间,山西仅出现 16 个旱年,平均 144 年一次;到元代发展到 34 年一次;明清 4 年半一次;民国时为 2 年零 2 个月 1 次;建国后为 1 年零 2 个月 1 次,成了名副其实的“十年九旱”。就连过去经常闹“水患”的黄河下游,近几年来也频频出现“水荒”,黄河断流次数增多,断流时间提前并延长。1973～1981 年,黄河下游共发生 7 次断流。1995 年,黄河在山东、河南断流时间长达 140 天。缺水不再是潜在危机,已成为现实危险。现在,北方地区缺水问题越来越突出,地表水、地下水、黄河水都不敷用。山西省天然水资源量由 20 世纪 50 年代的 141.6 亿

立方米,下降到 20 世纪 80 年代的 80.1 亿立方米;汾河、滹沱河、文峪河等六大河流的水流量,竟比历史上年平均流量减少 42 % ～90 % 。山西人均水资源占有量仅为全国的 19 % ,亩均占有量只有全国的 13 % ,缺水的问题更为严重。

综观数千年的农耕史,是人类的过度垦植,使林草植被遭到破坏,满目青山成了荒山秃岭,青山绿水变为滔滔黄河,将黄土高原的肥田沃土,切割成千沟万壑,不仅严重威胁着当地的生产和生活,而且危及黄河下游地区的生存与发展。痛定思痛,这不能不说是人类自己酿下的一杯苦酒,是历史留下的沉重包袱。由此反思,根治水土流失、保护和改善生态环境、还其青山绿水的本来面目,从一定意义上说,是造福子孙后代的伟大事业,也是推进农业现代化的一项重要内容和艰巨任务。

(2)新道路的理论支点

保护和改善生态环境,必须走有中国特色的生态农业之路,这是中国农业实现可持续发展和现代化的战略选择。

20 世纪 80 年代以来,随着农村改革的巨大成功,我国的农业生产取得了长足发展。但与此同时,受生态环境恶化和环境污染加剧的影响,农业发展的后劲开始呈现出不足的态势。在这种情况下,生态农业作为一种保障农业持续、稳定、协调发展的农业发展模式开始在华夏大地逐步兴起。进入 90 年代后,随着可持续发展思想的提出,生态农业作为一种使农业实现可持续发展的模式日益引起人们的重视,生态农业的理论研究和实践探索也日益广泛和深入。发展到今天,人们逐步形成这样一个共识,中国农业要实现可持续发展和现代化,就必须致力于保护和改善生态环境,走具有中国特色的生态农业之路。

这是因为,生态农业作为一种运用生态学原理和系统科学方法,把现代科学成果与传统农业技术的精华相结合而建立起来的现代农业发展模式,其本身不仅体现了生态效益与经济效益的统一,而且包含了可持续发展的思想。其理论支点是生物和环境相互适应、协调进化原理,以及生物之间相互依存、能量多级利用与物质循环再生原理,并具体表现为以下几个特点。

首先,生态农业强调劳动密集型与技术密集型的结合。生态农业要求人们必须树立新的农业经营思想,实行劳动密集、资金密集、技术密集、能量密集、商品密集相交叉的集约经营,避免片面的集约化,精心谨慎地对待农业,通过精湛的农业工艺与农业生态工程,以便在小块土地上首先生产高额产品,再通过物质循环利用与加工使产品增值,通过提高系统的自身组织能力,增值自然资源,以维持系统生产的高效益,增强农业发展的后劲,形成持续、稳定、高产的多元化农业,这实质上就是要保持农业的可持续发展。

其次,生态农业强调生态系统内部生产潜力的深度开发。生态农业理论强调农业是一个开放系统,并且是非平衡系统。这就要求我们打破传统农业的观念,从封闭式的自给自足的“人口—耕地—粮食”的有序中不断降低的恶性循环中跳出

来。由耕地农业发展到利用整个国土资源,着眼于国土和海域大陆架。通过食物链、网络化以及农业废弃物资源化来达到充实生态位,充分发挥资源潜力和物种多样性优势,实现可再生资源的连续性。正是在这一思想的指导下,以开发利用微生物资源为内容的白色农业、以开发和利用海洋生物资源为内容的蓝色农业从 80 年代以来开始在我国逐步兴起,并与传统的以开发和利用土地为内容的绿色农业一起构成了我国农业的新结构,为解决我国的食物供求和提高人们的膳食水平提供了新途径。

再次,生态农业作为一种把现代科学技术和传统农业精华相结合的农业发展模式,其本身的技术含量是比较高的,而且具有较强的适用性。它的这一特点既适应了我国人多地少的国情,也符合当前我国经济发展的水平和区域差异大的特点,因而是中国农业实现现代化的一条有效途径。从山西省的实践看,近几年来,随着生态农业的兴起和发展,当代最新科技成果与传统耕作方法相结合的适用技术的应用日益广泛,农业生产中的科技含量也日益提高。这充分表明,发展生态农业是我国农业实现现代化的行之有效的途径。

生态农业的上述特点顺应了我国农业持续稳定发展战略的要求,所以生态农业在 80 年代初提出以后,很快被广大干部和农民群众所接受,同时也得到了各级政府、有关部门的肯定和重视。从 1982 年国家环境部门开始布置生态农业试点到 1991 年,短短的不到 10 年时间,全国生态农业试点县就发展到近 100 个,试点乡、镇 300 个,试点村、场 500 个左右,总数约 900 多个,总面积约 30 万 km^2,试点区人口达 2600 万,试点面积占全国农田总面积的 2.2%,并涌现出了像北京大兴县的留民营村、山东淄博市的西单村、山西闻喜县、湖北京山县、河北迁安县等生态农业建设的先进典型。1992 年,联合国环境与发展大会后,顺应世界潮流的发展,我国开始提出和实施社会经济可持续发展战略。1994 年我国率先制订《中国 21 世纪议程》,提出了我国可持续发展的行动纲领。1995 年在制订《中国"九五"规划和 2010 年远景目标纲要》中,可持续发展战略正式作为我国社会经济发展的总体战略和重要战略被明确提出。在上述形势下,生态农业的发展开始进入一个新的时期,逐步由 20 世纪 80 年代的试点阶段向全面建设阶段转变,各地在结合当地实际的基础上,形成了多种多样的生态农业发展模式,并取得了良好的效果。经过几年的实践,一条具有中国特色的生态农业发展之路逐步形成,生态农业作为中国农业实现可持续发展和农业现代化的战略选择日益深入人心。

(3)新模式的实践探索

发展生态农业,必须按照生态规律的客观要求,坚持综合治理、立体开发、整体推进的方针,发挥规模优势,开拓多层次、大跨度的生态农业实践。

生态农业是一种集社会效益、经济效益和生态效益于一体的现代农业发展模式。发展生态农业,无疑对生态环境的改善和保护有着重要的意义,但同时,发展

生态农业也需要一定的环境支持。因此,发展生态农业必须在更大的区域或流域系统,坚持大规模综合治理、立体开发、整体推进,走综合利用资源、保护生态环境和生产集约经营的可持续发展之路,把生态农业建设纳入更大的区域范围或流域系统。

回顾历史,新中国成立以来,山西省把治水治旱同治山结合起来,一直致力于改善生态环境。早在 20 世纪 50 年代,山西省就涌现出像河曲县曲峪、平顺县西沟、阳高县大泉山等水土保持的先进典型。20 世纪 60 年代,大寨农田基本建设的经验曾在全国产生了广泛的影响。这些典型的共同特点,都是从恢复生态平衡入手,走出了一条先恢复后发展、边恢复边发展和边治理边发展的良性循环之路。20 世纪 70 年代,在全省范围内展开了一场以闸沟打坝、兴修梯田为主的群众性农田基本建设运动。20 世纪 80 年代初,随着家庭联产承包责任制在农村的普遍推行,率先实行并全面推广了以户承包治理小流域的经验,把农户这个最基本的社会经济单元和小流域这个最基本的自然单元紧密地结合起来,使广大农民在追求治穷致富的经济活动中,焕发出治山治水的高度热情,实现了边开发边治理,避免了对大自然的不合理索取,既培养了可再生资源,又提高了资源的利用率,对整个黄土高原地区的水土保持工作产生了积极的示范带动效应。

从黄土高原地区几十年来治山治水的实践看,根治水土流失,改善生态环境,零敲碎打、小打小闹不行。依靠局部的、零散的治理难以解决根本性问题,而且其建设的成果也难以巩固。凡是实行连片治理、规模开发的地方,都取得了显著的经济效益和生态效益。山西省安泽县几十年来,治山不止,造林不断,全县有林面积由建国初的九万余亩增加到现有的一百四十多万亩,森林覆盖率达到 48 %。林业的发展,涵养了水源,改善了环境,形成了独特的区域性“小气候”。全县年平均降雨量达到 586 mm,比全地区平均值高 80 mm。林茂而水裕,水裕而粮丰、草盛,从而形成了“树多—水多—草多—畜多—肥多—粮多”的生态经济发展链。可见,保护生态环境就是保护生产力,改善生态环境就是发展生产力。只要路子对头,措施得力,山可以变青,水可以变绿,贫水区可以转化为富水区。

大量实践证明,要从根本上保护和改善生态环境,在小范围内,依靠单项治理是很难做到的。生态环境一旦被人为的力量打破其自然恢复的功能以后,生态恶化就会以一种惯性的势头表现出来。要遏制这种势头,必须以数倍甚至数十倍于“破坏”的力量投入治理,必须在一个较大的生态区域内,把自然生态区域与社会经济区域有机结合起来,统筹规划、整体推进、综合治理,运用自然的力量恢复生态,运用经济的法则推动经济。基于这种认识,山西省于 20 世纪 90 年代初以数倍甚至数十倍于“破坏”的力量投人治理,把生态户、生态建设及时引向生态县、生态区建设。1991 年,在黄土高原水土流失严重的吕梁地区,首先制定了生态农业发展规划,开始了生态区建设的探索。1993 年起,山西省把这一规划扩展到晋西黄河

沿岸 27 个县并作为试验示范区。1994 年,又制定了跨行政区域六大片生态农业建设总体规划,形成了生态农业的“集团军”,发挥规划优势,开拓多层次、大跨度的生态农业建设实践,突出抓了四大工程:

一是绿色工程。人们常说山水相依,实质是林草资源和水源涵量呈正相关,林草覆盖率与水土侵蚀强度呈负相关。有了青山常在,才会有绿水长流。要在更高的水平上治山治水、治理黄土高原、根治黄河水患,必须把林草业视为一个特殊的产业来抓,作为一项战略举措来实施。鉴此,多年来,山西省坚持经济林、用材林、防护林一齐上,以经济林为主,初步建成了黄河沿岸 300 万亩红枣林带、晋南苹果基地、晋西北仁用杏和用材林区、太行山核桃和花椒林区、晋城市的蚕桑基地以及忻州、晋中的酥梨区。以林果业为生态农业骨架,农牧结合配套,形成六大生态区。与此同时,因地制宜,大力发展径流水保林业。在晋西北年降雨量 300～500ｍｍ 的黄土高原,林沟可吸纳 900～1300ｍｍ 的雨量,林木成活率达 95％以上,生产率提高 15 倍。

二是旱作工程。黄土高原的坡耕地占到总耕地面积的一半以上,而目前水土流失的重点区域就是坡耕地,黄河泥沙的一半左右也来自坡耕地。因此,近几年来,山西省大搞以机修梯田为主的农田基本建设,年建设规模达 50 多万亩。同时大力推广地膜覆盖、生物覆盖、秸秆还田、增施有机肥、深施化肥等旱作农业配套技术。目前全省高标准旱作农业面积已达 800 多万亩,生物覆盖免耕面积达到 300 万亩。群众说:“水路不通走旱路,生物覆盖是好路,省工省肥省投资,增水保土增效益,蓄住天上水,保住地下墒,天旱地不旱,亩产千斤粮。”水土保持好的,1ｍｍ 雨产 1.8kg 粮食。降 500ｍｍ 雨就可生产 1t 粮,降 300ｍｍ 雨可产千斤粮。在狠抓坡改梯、窄条人工梯田变宽幅机修梯田的基础上,山西省还把旱作农业技术用于退耕、种林、种草,尤其是发展径流果园,形成了以保护基本农田为中心的粮、林、草镶嵌式布局,形成了大生态农业的格局。

三是节水工程。我国水资源十分紧缺,黄土高原更是一个严重的贫水区。发展节水农业,一方面可以减少水源的浪费,缓解工业与农业、生产与生活用水的矛盾,另一方面也减少了水土流失(山区节水农业尤其如此),降低了生态农业的成本,推动了生态农业的发展。近几年来,山西省借鉴和引进国内外先进经验和技术,先后推广了小畦节浇、渠道防渗、管灌节水和滴灌、渗灌等技术,特别是推广了万荣县农民创造的“六省一增”(省水、省地、省肥、省电、省钱、省工、增产)细管渗灌等办法,使农业节水由输水系统节水向全面实施田面节水扩展;由传统意义上的“浇地”向“浇作物”过渡;由在井灌区使用向整个水地全面推进,进而向山地丘陵区扩浇拓展。群众说,一条细管管,扎几个小眼眼,用水一点点,浇灌一片片,土壤不板结,增产最明显。目前,山西省已建成标准较高的节水农田 600 万亩,年可节水 8 亿多立方米,相当于投资数 10 亿元建设的大型水库。

四是白色农业工程(微生物农业工程)。白色农业是指应用当今高科技生物工程技术对微生物资源进行开发和利用,生产人类所需要食物的一种新型的工厂化农业形式。白色农业作为生态农业的一种高级形式,可以说有着广阔的发展前景。大家知道,微生物是地球上三大生物资源之一,目前已知的微生物种类约有十几万种,充分利用这些微生物进行人类所需要的食物生产,不仅将有效地减缓人类食物需求对土地的压力,而且将彻底改变传统的农业生产方式,使人类的食物生产迈入一个新的广阔的天地。20 世纪 90 年代中期以来,在国际农业和生物科学中心以及中国农业科学院的帮助下,山西省先后成立了白色农业协调领导组、山西省白色农业开发研究中心和山西省白色农业工程学会,并成功地在太原市举办了“白色农业高级技术培训班”。通过上述措施,白色农业的研究与开发在全省迅速兴起,并在微生物饲料、微生物肥料、微生物农药、微生物食品等的研究与开发上取得初步成效。

上述重点工程的实施,带动了山西省各地生态农业的发展。目前,山西省各地(市)都有了生态农业的粗线条规划和实施重点。太原市将消除环境污染,建设城郊生态农业区,列为山西省“九五”计划和 2010 年远景目标的重要内容。大同市、朔州市把种玉米养牛、农牧结合、发展复式生态农业作为突破口,大搞生态农业建设。从发展方向看,把生态农业建设推向以地(市)为单元的更大范围已成为一种必然趋势。

(4)新机制的精心培育

发展生态农业、保护和改善生态环境,靠小而全的自给自足的生产方式不行,必须立足于社会再生产的物质循环过程,实行产业化开发,把生态农业建设引入社会主义市场经济大道。

在社会主义市场经济条件下,生态农业是建立在高产、优质、高效、低耗基础上的商品农业。如果不生产适应市场需要的农产品,生态农业同样不能持续发展。按照马克思的观点,任何远大的目标,如果不同人民群众的利益结合,便将一事无成。生态农业也是这样,其实践者、创造者是 9 亿农民,如果不与他们的利益结合,或结合得不好,就不会得到群众拥护,其发展也难以持久。要发展生态农业,必须坚持生态系统与经济系统相结合,既要遵循自然规律,又要遵循经济规律,兼顾生态效益、经济效益和社会效益,寓生态效益和社会效益于经济效益之中,以市场为导向,培育主导产业,扶持龙头企业,实行产业化开发,把生态农业建设纳入市场经济的轨道。

产业化开发,就是大规模、大批量、低投入、低消耗、高产出、高效益,尽可能地延长生产链条,使每个链条实行专业化生产、社会化服务、规模化效益。近几年来,各省都根据自己的实际,积极实施农业产业化战略,取得了许多成功的经验。这种形式越来越多地为人们所认识,成为市场经济条件下农业现代化的一条新路。山

西省依据自己特殊的地理条件,紧紧抓住“体制转轨”的历史机遇,以市场为导向,以生态农业为目标,按照产业化发展的要求,从调整产业结构人手,精心培育主导产业。在山区、丘陵区大力发展经济林,连续几年以10%以上的速度递增。1995年,总面积达到了1200多万亩;经济林在林业中的密度由“七五”末的13.3%提高到25.4%;在黄河沿岸20个县形成了千里经济林带,在晋西南21个县形成了400多万亩优质苹果基地;全省干鲜果品总产量达到20亿千克,比1991年翻了一番多。畜牧业生产持续快速发展,畜产品产量连续五年以11%的速度递增。蔬菜产量年均增长速度达到8.5%以上。涌现出一批经济林、畜牧业和蔬菜生产大县。

目前,经济林、畜牧业和蔬菜已成为全省的三大主导产业。在培育主导产业的同时,要特别注重产业链的延伸,狠抓龙头企业的建设。通过龙头企业把主导产业所形成的初级产品的生产规模变为商品的市场规模,提高农产品的附加值,以经济效益支撑主导产业的发展。近年来山西省把财政支农资金、信贷资金和扶贫资金捆起来,每年筹资2亿多元,重点用于七大农产品加工的骨干龙头企业建设。围绕晋南苹果基地建立了果品集团公司;围绕晋北奶牛、生猪、肉羊生产基地,建立了奶制品、肉制品、皮革加工等龙头企业。目前,晋南果品加工、晋西北皮革加工、中北部畜产品加工、东西两山红枣和核桃加工以及蔬菜加工等,发展势头良好,已形成十大类100多个品种,有的已打入国际市场。闻喜县的脱水蔬菜、高平市的黄犁汁、河曲县的海红蜜饮料都已形成一定生产规模,对当地经济发展产生了较强的辐射带动作用。

实践证明,把生态系统的食物链和经济系统的投入产出链科学地结合为一体,发展农产品加工业,一方面可以多层次地综合利用各种生态系统的生物产品,创造出国际国内市场需要的商品,实现农产品的多次增值;另一方面还能通过“优化组合”而成的投入产出链或加工链,促使农业生态系统的食物链更趋合理,使各种有机物和废物得到多层次利用,产出更多的生物产品,使我国农业发展进入资源—商品—资源的良性循环,不断促进商品农业、市场农业的发展。

(5)新体制的不断完善

发展生态农业,必须时刻关注和加速推进小流域的治理开发。要做到这一点,必须从完善管理体制入手,动员全社会的力量,调动全社会的积极性,形成以户包为主的多种治理开发形式并举的新格局。

从宏观视野看,小流域的治理开发是建设生态农业的一个重要内容,或者说是一个重要条件。但立足于一个自然单元从微观视角看,小流域的开发治理几乎涵盖了发展生态农业特别是山区生态农业的全部内容。因此,无论从哪个方面看,都必须把小流域的开发治理作为加速生态农业建设的一个基本着力点而给予足够的重视。正如前面谈到,进入20世纪90年代后,随着小流域治理开发向广度和深度

发展,小流域治理开始向着全方位根治水土流失、大范围建设生态农业的方向迈进。在这种新形势下,如何加快荒山、瘦沟的治理和开发,如何保护好已治理的成果,已成为山西省生态农业发展的一个新的重要课题。鉴此,吕梁地区首创拍卖“四荒”使用权的经验,使生态农业的发展跳出了农民单一经营的旧框框,走出了一条依靠全社会的力量发展生态农业的新路子。

在总结吕梁地区经验的基础上,为了加大拍卖力度,加快生态农业发展的步伐,从 20 世纪 90 年代起,山西省制定了一系列促进“四荒”使用权拍卖和生态农业发展的政策措施。如打破行政区划界线,允许面向社会拍卖“四荒”使用权;打破所有制界限,允许不同经济成分的主体购买“四荒”使用权;打破原承包期限,允许延长到 50 年至 100 年不变。开发治理成果允许继承、转让、抵押,进入市场;在“四荒”地开发的基本农田不征购、不提留,种粮食十年内免缴农业税,栽果树免征农林特产税;允许在“四荒”地修建管理生产用房,发展农副产品加工业。国家在征用时,要对治理成果给以补偿;遵循资源利用的总体规划,对买而不治或买后乱垦者集体有权收回。1995 年,山西省又制定了鼓励城镇机关团体、企事业单位参与“四荒”开发的优惠政策,目的在于进一步调动机构精简下来的人员和下岗职工开发“四荒”的积极性。通过政策调动、利益吸引,山西省现已形成了以户包为主的多种治理开发形式并举的新格局。一是拍卖治理。具体做法为:“民主定标,公开投标,契约稳 权”。对面积较小、条件较好的流域,实行先卖后治,即直接拍卖给农户治理。对面积较大、立地条件差、近期效益不显著、单家独户难以治理的流域,实行先治后卖,先由集体组织用劳动积累工统一治理,然后卖给农户经营、管护。二是股份合作治理。个人与个人之间、集体与集体之间或个人与集体之间,以资金、劳力、技术、荒山荒坡等入股的形式进行治理开发,收益按股分红。三是租赁。采取这一形式多数是已经过初步治理,只需管护、开发就能得益的小流域,租期和租赁费由双方议定。四是专业队治理。在治理任务较大的地区,把专业队办成自负盈亏的经济实体,开发成果可以由专业队经营,也可以治理后拍卖给农民经营。拍卖后的资金,继续由专业队用于新的开发治理。五是机关、企事业单位参与治理。在经济基础比较落后、治理任务又很大、群众和集体无力治理的地区,动员机关团体、企事业单位参与治理开发。隰县、石楼等县在机构改革中精简下来的大部分机关干部已主动投入到荒山治理开发中。在以上几种治理开发形式中,股份合作制是最具生命力的一种形式。全省股份合作制农田水利工程已达到一万多处,吸纳股金 3.5 亿多元,不仅解决了治理开发中的资金短缺问题,而且营造了新的经营机制,把小流域治理开发有效地引入了市场经济的轨道。截至 1997 年年底,山西省共有 24 万户农民、660 多家企事业单位和近万名国家干部参与购买“四荒”使用权,面积达 1500 多万亩,已治理面积达到一半以上,丰富了生态农业建设的内容,加快了生态农业建设的步伐。

(6)新时期的政府行为

改善生态环境,必须强化生态意识,优化政府行为,建立健全法规保障体系,把生态农业建设推向生态文明的新阶段。

生态农业既是一场新的农业技术革命,同时也是一项巨大的社会系统工程。要高起点、大跨度地建设生态农业,必须进一步强化各级政府的组织推动功能,从组织运行机制上保证生态农业建设的健康发展。一要不断强化各级干部特别是领导干部的生态意识和环境保护意识。各级领导干部应当站在农业可持续发展的战略高度,充分认识建设生态农业、改善生态环境的重要性和紧迫性,形成党政一、二把手亲自动手、四大班子成员齐抓共建的良好氛围。过去山西省提出在山区治县之要贵在富民,富民之要重在治山治水。不会治山治水,就不能治县富民,就不是合格的领导。现在看,生态环境是农业的生命线,生态农业是人类的生存线。不考虑人类生存条件的领导,是不称职的领导。二要搞好总体规划。生态农业建设涉及范围广,牵扯部门多,一定要在政府的统一领导下,吸收多部门、多学科的领导和技术骨干,组织强有力的规划班子,运用生态学、系统工程学理论以及先进的技术手段,遵循自然规律和经济规律,本着因地制宜、分类指导的原则,在进行定性、定量分析的基础上,制定出符合当地实际的总体规划。制定生态农业建设总体规划,要同实施"九五"计划与2010年远景目标规划紧密统一起来,山区要和综合治理统一起来,和脱贫致富、农民奔小康规划统一起来,成为本地区经济和社会发展的重要组成部分,统筹安排,同步进行。三要根据《中华人民共和国农业法》的基本要求,把生态农业建设纳入法制化的轨道,切实加强发展生态农业的法规建设,特别是生态农业的发展规划应该以法律的形式加以肯定,以保证规划的严肃性和持续性。四是各级政府要千方百计增加对生态农业建设的资金投入。各级政府对生态农业建设重视与否集中体现在投入上。要统筹使用各种农业专项资金,积极引进和利用外资。山西省运城、吕梁地区引进1亿美元扶贫综合开发资金,主要用于以生态建设为主体的综合治理工程,这是从根本上改变生态环境、摆脱贫困的生态工程。农业部门作为政府组织开展生态农业建设的牵头单位、职能部门,要组织协调各有关单位做好生态农业规划的实施和推广工作。五是要因地制宜地建立不同类型的生态建设示范点。各地的自然条件不同,经济条件各有差异,应结合当地的实际情况,建立不同类型的生态农业示范样板,取得经验后大面积推广,继而形成星罗棋布的"推广圈",并使之渐趋相接、相叠,以便在更大的范围内把生态农业建设推向一个新阶段。

总的来看,生态农业的发展过程,既是物质文明的建设过程,也是精神文明的建设过程,它能够满足人们物质和精神生活的双重需求。正因为如此,人与自然和谐相处、共同发展的生态农业才成为世界各国的共同追求。21世纪是生态世纪,是生态农业发展的新阶段、生态文明建设的新纪元。马克思早在1844年就预言,

“人与自然的和谐是人类文明活动的最高境界”。为了追求和达到这一“最高境界”,我们应大力建设以保护生态环境、发展生态农业、建设生态文明为特征的现代化农业,以迎接生态世纪的到来。

第五节 第三产业的清洁生产
(Cleaner Production in Third Industry)

第三产业(third industry 或者 service sector),指西方现代经济学为研究经济增长对产业结构的影响而划分的国民经济三个部门之一,包括商业、金融业、信托业、提供各种劳务的服务性行业等为生产和消费服务的部门。一般认为第一产业指农业、畜牧业、渔业、林业、矿业;第二产业指制造业、建筑业。

我们上一节已经根据清洁生产的定义和内涵将其由第二产业扩展到第一产业(广义的农业),事实上所谓第三产业一样也存在着在生产过程中如何减少物质的使用和废弃物的产生,甚至也有义务提供符合可持续发展概念的产品与服务,本节我们将进一步将其扩展覆盖第三产业。

(1)商业的清洁生产

我们可以从几方面来探讨商业的清洁生产:

对商品本身提出要清洁生产,要贯彻可持续发展理念的要求,这实际上是与工业生产的清洁生产分不开的,但是从商业角度来要求。目前国家或地区之间硬性的关税壁垒在日渐降低,但对许多商品设置了绿色壁垒,从某种意义来说这是进步的表现。

在进行商务活动时要贯彻绿色的理念。比如说在可能的情况下开展电子商务,既可节约纸张等物质消耗,亦可节约时间。商品交易过程中的运输与包装也应强调环境保护和绿色的理念。

商务楼设计、建设和管理要考虑环保和节能,要有利于进行绿色商务活动。

(2)金融业的清洁生产

金融业的情况与商务活动有许多类似地方,比如开展电子业务或无纸化金融业务,也包括建筑物的设计与管理。

(3)旅游业的清洁生产

旅游业的牵涉面比较广,进行清洁生产的余地也比较大。

①旅游者的吃。大量的旅游者来自国内外四面八方,他们在旅游中一个最重要的事情就是吃饭。通过吃饭获取能量,既要维持生存,又要储蓄能量用以游山玩水;品尝具有地方和民族特色的饮食本身就是文化交流和了解民俗等旅游重要组成部分。旅游业在吃的方面就大有讲究了,在品尝、了解和交流时不能以损害环境、生物多样性等作为代价,比如不能吃那些被保护的动物。吃的时候不能浪费,

不能造成污染。有的旅游点在水上或山上开设餐厅,固然游客们在欣赏山水时可能吃得更香,但是餐厅的废水和其他废弃物如果得不到合适的处理,那么肯定就会造成污染等后果。

②旅游者的住。旅游者的住从清洁生产的角度来看也是大有文章可做的:旅馆的建筑是否环保?旅馆的管理是否环保?比如说节能、节水,还有其他如提供的肥皂、牙膏、沐浴液、洗发香波等不能浪费。一些毛巾和浴巾,可能的情况下还有床上用具等,适当减少洗涤次数,既可节水、节能,又可少用洗涤剂,寿命当可适当延长。

③旅游者的行。路线要安排合理,要注意减少空乘率。交通车辆要节能,不产生废气,要低噪声等。

④旅游者的游。旅游者的游是核心,现在已经注意生态游和环保游的概念,注意人与自然的和谐。在游的时候要注意保护旅游资源、风景名胜,甚至是一草一木。在游的时候不能"千军万马,铁蹄践踏,垃圾遍地,山水呻吟"。

旅游业对于景点的开发利用要适度,这包含以下几个方面的内容:

①规模适度。超过承载限度,就会给旅游景点带来严重的破坏和损失,有时可能会造成致命的无可挽回的损失。在目前产权和管理权不太明晰,又处在经济发展的上升阶段,旅游业快速发展阶段,这种做法有一定的普遍性。比如西藏的纳木错湖目前就陷入窘境:没有相应的配套服务资源和管理能力,不但湖本身受到破坏,垃圾遍地,满湖漂流,相关的环境也直接间接地受到影响。

②开发适度。有些地方比较偏僻,恰如养在深闺,得以保持纯净而未受人类活动的影响,如果没有整套的科学的方案,最好不要贸然上马。即便觉得可惜或急于产生经济效益,也一定不要寅吃卯粮,更不能竭泽而渔。像有些地方要将湿地开发成高尔夫球场,就应该仔细推敲论证,如果开发过度了,湿地在可预见的将来会受到严重破坏或消失的话,那么这种开发就不是适度的。

③采用现代技术与设施要适度。比如在张家界或黄果树等以自然美为特色的地方,搞旅游缆车和观光电梯等,就要考虑是否会破坏原来的那种独特的璞和真,破坏特有的风格。当然另外一些地方也应注意,不要"得不偿失"。

④景点和文化古迹等的修缮要适度。所谓修旧如旧也不是容易的事,千万不要在没领悟原来的意蕴和风格的情况下匆忙上马,搞得不伦不类,好心办了坏事。更不能将这些无比珍贵的景点或古迹搞得恶俗或纯粹的商业性伪古董。有很多东西最重要最珍贵的就是其自身目前的状态。

参考文献

岸根卓郎著.何鉴译.1999.环境论——人类最终的选择,南京:南京大学出版社

邓南圣,吴峰.2002.工业生态学——理论与应用.北京:化学工业出版社

葛荣晋.1991.道家文化与现代文明.北京:中国人民大学出版社

黄正夫,吴国琛.2001.中国生态经济——理论与实践.太原:山西经济出版社

钱易.米祥友.1993.现代废水处理新技术.北京:中国科学技术出版社

席运官,钦佩.2002.有机农业生态工程.北京:化学工业出版社

朱宪.2001.绿色化学工艺.北京:化学工业出版社

Braden R Allenby, Deanna J Richards. 1994. The Greening of Industrial Ecosystem. New York: National Academy Press

Mark B Bush. 1969. Ecology of a Changing Planet. Mexico city: Prentice Hall

World Bank. 1999. Greening Industry: New Roles for Communities, Markets, and Governments. London: Oxford University Press

第十八章　环境管理与环境影响评价

第一节　环 境 管 理
(Environmental Management)

18.1.1　环境管理概述(Introduction)

1. 环境管理的目的

环境问题的产生根源在于人们认识上的错误,进而导致开发行为的失当,最终使自然环境受到干扰和破坏。因此,人们必须改变自身的基本观念,从宏观到微观对人类自身的行为进行管理,以逐步恢复被损害了的环境,并减少甚至消除新的发展活动对环境的结构、状态、功能造成新的损害,保证人类与环境能够持久地、和谐地协同发展下去。这就是环境管理的根本目的。具体说来,环境管理就是通过对可持续发展思想的传播,使人类社会的组织形式、运行机制,管理部门和生产部门的决策、计划,以及个人的日常生活等各种活动,符合人与自然和谐的要求,并以法律法规、规章制度、社会体制和思想观念等各种形式体现出来,即通过管理,创建一种新的生产方式、新的消费方式、新的社会行为规则和新的发展方式。

2. 环境管理的对象

要解决好环境问题,就必须以环境与经济协调发展为前提,对人类的社会经济活动进行引导并加以约束,使人类社会经济活动与环境承载力相适应。因此,环境管理的对象应该是人类的社会经济活动,大致可以分为三个方面。

(1)个人

个人为了满足自身生存和发展的需要,通过生产劳动或购买去获得用于消费的物品和服务,在消费这些物品的过程中或在消费以后,将会产生各种各样的废物,并以不同的形态和方式进入环境,从而对环境产生各种负面影响。一般来说,消费对环境的负面影响可以分为以下几种情况:

①在对消费品进行必要的清洗、加工处理过程中产生的废物以生活垃圾的形式进入环境,如食品烹饪等。

②在运输和保存消费品时使用的包装物也将成为废物,它们同样以生活垃圾的形式进入环境,例如各种塑料袋等。

③在消费品使用后,或迟或早也成为废物进入环境。例如废旧电池等。

要减轻个人的消费行为对环境的不良影响,首先必须明确,个人行为是环境管

理的主要对象之一。为此必须唤醒公众的环境意识,同时还要采取各种技术的和管理的措施:诸如提供并鼓励消费者选用与环境友好的消费品,以利于最大限度地降低消费过程对环境的影响;集中清洗和加工各种消费品,以便于收集和处理废弃物;禁止使用难处理或严重污染环境的消费品等等。总之,在市场经济条件下,可以运用经济刺激手段和法律手段,引导和规范消费者的行为,建立合理的消费模式。

(2)企业

企业通常是通过向社会提供物质性产品或服务来获得利润。由于企业活动的目标是追求最大的利润,至于生产什么样的产品以及生产多少主要取决于它能从市场上得到利润的多少。但是,无论企业的性质有何不同,在它们的生产过程中,都必须要向自然界索取自然资源,并将其作为原材料投入生产活动中,同时排放出一定数量的污染物。因此,企业的生产活动,特别是工业企业的生产活动对环境系统的结构、状态和功能均有极大的负面影响,其中主要有以下两种情况:

①从环境中索取各种自然资源,直接改变了环境的结构,进而影响到环境的功能。例如,为了满足纸张生产的需要,许多森林被过度砍伐,导致森林生态系统功能的丧失。

②在企业生产过程中,只有一部分原材料能够转化为产品,其余的很大部分都将以废物的形式进入环境,造成环境污染。这种生产性污染往往同时包括大气污染、水污染、噪声污染等多种形态,对人体健康和生态系统均有极大的危害。

由此可见,企业行为是环境管理的又一重要对象。要控制企业对环境的不良影响,首先要从企业文化的建设,包括企业道德的教育入手,从内部减少或消除造成环境压力的因素,同时要从外部形成一个使其难以用破坏环境的办法来获利的社会运行机制和氛围。另外,还要营造有利于与环境协调、和谐的企业行为、技术发明得到较高回报的市场条件。相应的,可以采取的技术与管理措施有:制定严格的环境标准,限制企业的排污量;实行环境影响评价制度,禁止兴建过度消耗自然资源、严重污染环境的企业;运用各种经济刺激手段,鼓励清洁生产,支持和培育与环境友好的产品的生产等。

(3)政府

政府在社会行为的角色很多,主要指:

①作为投资者,为社会提供公共消费品和服务。这种情况在世界范围内具有普遍性,例如,经办供水、供电、铁路、文教等公用事业等。

②作为投资者,为社会提供一般的商品和服务,这在我国比较突出。

③掌握国有资产和自然资源的所有权,以及对自然资源开发利用的经营和管理权。

④政府有权运用行政和政策手段,对国民经济实行宏观调控和引导,其中包括

政府对市场的政策干预。

可见,不论是进行提供商品和服务的活动,还是对市场进行宏观调控,政府的行为同样会对环境产生这样或那样的影响。其中特别值得注意的是,宏观调控对环境所产生的影响具有极大的特殊性,即牵涉面广、影响深远又不易察觉。因此,政府行为对环境的影响是复杂的、深刻的。既有直接的一面,又有间接的一面;既可以有重大的正面影响,又可能有巨大的难以估计的负面影响。要解决政府行为所造成相引发的环境问题,关键是促进宏观决策的科学化。

3. 环境管理的内容

环境管理的内容可以从不同角度来划分。从对象角度,可以分为政府行为的环境管理、企业行为的环境管理和公众行为的环境管理;从环境目标角度,可以分为环境质量的环境管理和生态环境的环境管理,但在实际工作中,常常相互交叉、结合在一起。本文根据后一种分类介绍环境管理的内容。

(1)环境质量管理

环境质量管理是指为了保证人类生存和健康所必须的环境质量而进行的各项管理工作。所谓‘环境质量”,一般是指特定的环境中,环境的总体或环境的要素对人群的生存和繁衍以及社会经济发展的适宜程度。由于环境由多种要素组成,也由于不同地域环境的功能不同,故通常把环境质量分为空气环境质量、水环境质量、声环境质量、土壤环境质量等。评价环境质量优劣的基本依据是环境质量标准,它是为保护人群健康和公私财产而对环境中污染物(或有害因素)的容许含量所作的规定。政府因对不同地域规定了不同的功能要求,因而规定其环境质量要达到不同的级别。

根据环境要素的不同,环境质量管理的内容还可以进一步划分为:大气环境管理、水环境管理、声学环境管理、土壤环境管理和固体废物环境管理;根据区域类型的不同,可以将环境质量管理进一步划分为:城市环境管理、农村环境管理;由于环境质量管理的核心内容是环境被污染的情况和程度,所以还可以从产业部门的角度将环境管理的内容划分为:农业环境管理、工业环境管理和商业、服务业环境管理。

由于认识程度的阶段性和技术手段的局限性,环境质量管理的具体内容也在逐步的变化、发展。早期,以为控制住污染物的排放浓度就可以控制环境污染的程度,于是环境质量管理的内容主要表现为浓度管理。随着这一管理效果非有效性的日益显示,今天,人们认识到除了要控制住每一个排放口的污染物排放浓度外,还必须控制住其排放总量,以及整个地域中的总排放量,这样才能有效地控制住环境质量。于是近年来,不少国家的政府都开始推行以总量控制为中心内容的环境管理。

(2)生态环境管理

所谓生态环境,实质上就是指人类赖以生存、发展的自然环境。之所以冠以“生态”之名,意在强调自然环境中各种要素之间存在着密不可分的物质的、能量的、信息的流动与联系。

自然环境中的要素主要指空气、土地、水、各种生物、各种矿物、各种气候等等。所谓自然环境就是在不同的时间域和空间域中,由这些要素以不同的结构形式联系在一起,并具有一定的状态。在人类活动强烈参与以后,自然环境中的要素及其结构、状态就发生了变化,具体说来就是物质、能量和信息的流动方式与流动状况发生了改变。如果这些改变将威胁人类(哪怕是后代人)的生存和发展,那就不符合人类的追求和愿望,也不是人类努力发展的目标。因此人类有必要管理好自己的‘参与行为’,所谓生态环境管理,实质上是人类对自己的‘参与行为’的管理。

在生态环境管理中,重点是对上述自然环境的要素(自然资源)的管理,在实际工作中,当前主要是按照自然资源的种类,将自然资源管理的内容划分为:水资源管理、土地资源管理、矿产资源管理以及生物资源管理。

4. 环境管理的手段

政府(包括立法和司法机构)是环境管理的最关键、最重要的主体,因此,本节着重介绍政府实施环境管理的一些基本手段。

(1)行政手段

行政手段是行政机构以命令、指示、规定等形式作用于直接管理对象的一种手段。行政手段的主要特征是:

①权威性。行政机构的权威越高,行政手段的效力越强。因此,环境保护行政机构权威性的高低,对提高政府环境管理的效果有很大的影响。

②强制性。行政机构发出的命令、指示、规定等将通过国家机器强制执行,管理对象必须绝对服从,否则,将受到制裁和惩罚。

③规范性。行政机构发出的命令、指示、规定等必须以文件或法规的形式予以公布和下达。

在我国的环境管理工作中,行政手段通常包括:

①制定和实施环境标准。根据《中华人民共和国环境保护法》的规定,国家环境标准由国务院环境保护行政主管部门即国家环境保护总局制定,地方环境标准由省、自治区、直辖市人民政府制定。

②颁布和推行环境政策。国务院环境保护行政主管部门根据一定时期内国家的环境保护目标,拟订环境保护工作的基本方针、指导原则和具体措施,并予以推行。

(2)法律手段

法律是一种社会行为规范,它告诉人们应当作什么或不应当作什么。与其他

形式的社会行为规范相比,法律规范最显著的特征是强制性,即通过国家机器的保障,强制执行。其他规范,如道德规范,则主要借助教育和社会舆论来得到实现。违反法律规范的行为,将受到相应的制裁和惩罚,而违反道德规范的行为,只能受到舆论的谴责,却不一定会受到相应的制裁和惩罚。我国的环境保护法律规范详见本书第二章。

(3)经济手段

经济手段是指运用价格、税收、补贴、押金、补偿费以及有关的金融手段,引导和激励社会经济活动的主体主动采取有利于保护环境的措施。

在市场经济中,如果商品供不应求,价格就会上涨;如果商品供过于求,价格就会下跌。因此,价格是反映一个物品的稀缺程度的信号。另一方面,在市场经济中,不承认环境和自然资源具有价值,从而促使环境和自然资源被过度消耗,呈现严重的枯竭状况。为此,在环境管理中,特别是在目前,环境和自然的价值虽然在认识论上已被肯定,但一时还无法在价格上加以表示时,可以运用一些经济手段加以补救,以间接调整对环境与自然资源的利用。

在我国,政府环境管理的现行经济手段主要包括:

①排污收费制度。根据我国有关政策和法律的规定,排污单位或个人应根据排放的污染物种类、数量和浓度,交纳排污费。

②减免税制度。国家规定,对自然资源综合利用产品实行五年内免征产品税、对因污染搬迁另建的项目实行免征建筑税等。

③补贴政策。财政部门掌握的排污费,可以通过环境保护部门定期划拨给缴纳排污费的企事业单位,用于补助企事业单位的污染治理。

④贷款优惠政策。对于自然资源综合利用项目、节能项目等,可按规定向银行申请优惠贷款。

但是,应当指出的是,经济手段的运用不能独立于行政手段或法律手段。它必须以行政手段或法律手段为载体。除经济手段外,类似的手段还有宣传教育手段和科学技术手段。

(4)宣传教育手段

正如广告可以引导消费者的消费一样,环境宣传教育可以提高人们的环境保护意识。通过环境宣传教育,不但要使全社会充分认识到环境保护的重要性,而且应当使全社会懂得环境保护需要每一个社会成员的参与。只有全体社会成员共同参与,才能从根本上保证环境得到保护。

首先,每一个社会成员都是物质产品的消费者,他们的消费方式的选择将会对环境产生不同的影响;同时他们又分别以不同的身份和形式参与到政府、企事业单位的社会行为之中。如果每一个社会成员都能够从我做起,在决策时充分考虑环境保护的要求,在行动中切实贯彻国家的环境保护政策和法律,那么,就会在全社

会逐渐形成自觉的环境保护道德规范。这对于保护环境、实现可持续发展无疑将会具有根本性的意义。

其次,通过环境宣传教育,提高公众的环境保护意识,还有助于增强企业和公众参与环境管理的能力。在西方国家,公众参与环境管理已经十分普遍。例如,许多国家规定了公众参与环境影响评价的形式和程序,并作为环境影响评价不可或缺的组成部分。但在我国,公众参与环境管理还有待加强,其中原因之一就是公众缺乏必要和足够的环境保护意识和相应的科学知识。

(5)科学技术手段

政府环境管理中的科学技术手段是指,国家建立合理的制度,制定有关的政策和法律,提高环境保护的科学和技术水平。具体地讲,主要指提高促进人与自然和谐,环境与经济协调的决策科学水平;提高、保障代内和代际的人与人之间(包括国家之间、地区之间,部门之间)公平的管理科学水平;提高发展既能高度满足人类消费需要又与环境友好的新材料、新工艺的科学技术水平;提高整治生态环境破坏,治理环境污染、提高环境承载力的科学技术水平等等。

18.1.2 我国现行的环境管理制度(Environmental Management System in China)

中国自 1973 年第一次全国环境保护会议以来,在 30 年的环境保护实践中,经过不断的探索、总结,逐步形成了一系列符合中国国情的环境管理制度。这类制度是我国环境管理政策的具体化,它使环境法律和政策不再停留在宣传口号上,而是变成为人们在环境保护实践活动中的行为准则,它使得环境管理工作制度化、法律化,从而熔环境科学、管理科学和先进的管理方法于一炉,把当代环境管理工作推到一个新的发展阶段,强化了环境管理。

1. 环境影响评价制度

环境影响评价的概念,最早是 1964 年在加拿大召开的一次国际环境质量评价的学术会议上提出来的,后于 1969 年美国又把它作为一项法律制度写入《国家环境政策法》中,此后为各国所仿效。环境影响评价作为项目决策中的环境管理,10 多年来在我国对于预防新污染源、正确处理环境与发展的关系、合理开发和利用资源等方面起了重要作用。

这项制度的具体内容详见本章第二节。

2 “三同时”制度

“三同时”制度是我国环境保护工作上的一项创举,它是指新建、扩建、改建项目和技术改造项目的防治污染及其他公害的设施,必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产,它是我国严格控制产生新污染源的一项重要的环境管理制度。

(1)“三同时”制度的形成和发展

“三同时”是1972年在国务院批转的《国家计委、国家建委关于官厅水库污染情况和解决意见的报告》中首次提出来的,1973年又在《关于保护和改善环境的若干规定》中作为一项制度正式提出,即一切新建、扩建和改建的企业必须执行“三同时”,正在建设的企业没有采取污染防治措施的必须补上,各级环保部门要参与审查设计和竣工验收。1976年中共中央批转的《关于加强环境工作的报告》中又重申了这项制度,进一步明确了不执行“三同时”的项目不准建设、不准投产。1979年《环境保护法(试行)》中又以法律形式对“三同时”制度做了规定,为以后的法规和条例提供了法律保证。1981年初,《国务院关于国民经济调整时期加强环境保护工作的决定》中,进一步强调了“三同时”制度,特别是1981年11月,国家计委、建委、经委和原国务院环境保护领导小组联合颁发的《关于基本建设项目环境保护管理办法》,对“三同时”制度的内容、管理程序,违反“三同时”的处罚作了较全面、具体的规定。在全面总结经验和教训的基础上,1986年又对这一规定进行了修改和完善,并由国务院环境保护委员会、国家计委、经委联合颁布了《建设项目环境保护管理办法》,具体规定了“三同时”制度的内容。1998年国务院发布实施的《建设项目环境保护条例》进一步确立了以环境影响评价和“三同时”两项制度为核心的建设项目环境保护管理办法,其具体程序见图18-1。

(2)“三同时”制度实施特点

为便于因地制宜地落实“三同时”制度,各地根据国家有关法律、法规,制定了很多“三同时”实施细则,重点解决了“三同时”的执法程序和可能出现的问题,使建设单位、设计单位、项目主管部门和环保主管部门均有章可循,从而随着“三同时”立法的加强,“三同时”的执行率逐年上升。目前大中型项目的执行率已近100%,违反“三同时”的情况越来越少。主要问题是小型项目,尤其是县市乡镇企业违反“三同时”的情况比较普遍,少数领导急功近利,对“三同时”采取软拖硬磨,提出“先上车,后补票”,使“三同时”执法工作无法进行。

在“三同时”实施过程中,特别要注重加强各有关部门的协同配合,落实“三同时”决不仅仅是环境保护部门的事,而是涉及计划、经济、金融、建设、行业主管部门等许多部门。只有通过联合执法、把关,才能较好地杜绝违反“三同时”项目投产的现象。另外,在实施“三同时”时,逐渐注重对违反“三同时”的处罚,尤其在处罚建设单位的同时,加强对主要责任人的处罚。

3. 排污收费制度

排污收费制度是污染者负担原则在污染防治领域的具体化。我国目前实行的征收排污费的政策有超标排污收费和排污水费两项。

图 18.1　建设项目管理程序图

(1)排污收费的性质和目的

我国《环保法》明确规定:“超过国家规定的标准排放污染物,要按照污染物的数量和浓度,根据规定收取排污费”。因此,在一般情况下,排污者缴纳排污费是履行法律规定的义务,管理机关征收排污费是履行法律规定的职责,排污收费性质是一种经济制约措施。但在特殊情况下,征收排污费也可作为一种法律制裁手段,如根据《海洋环保法》第41条规定,责令缴纳排污费是对违法造成海洋环境损害者的一种行政处罚;根据《水污染防治法》第38条规定,对造成水体严重污染、经限期治理逾期未完成治理任务的企事业单位,征收两倍以上的超标准排污费,也具有行政处罚性质。征收排污费的目的在于促进企事业单位加强经营管理,节约和综合利用资源,治理污染,改善环境。排污者缴纳排污费,仅仅是实现污染者负担原则的一种形式,并不免除其应承担的治理污染、赔偿损害的责任和法律规定的其他责任。

我国自1982年开始征收排污费以来,已取得了较好的效果。一是开辟了治理污染资金的来源,促进了污染者治理污染的积极性,许多企事业单位由于交纳排污费,提高了他们对防治环境污染的认识,从而加速了防治工业污染的步伐。二是促进了企事业单位的经营和环境管理。不少单位通过加强管理,节约资源、能源,减少原材料消耗,减少跑、冒、滴、漏,从而减少了排污量。三是促进了工业“三废”的综合利用,提高了企业的经济效益和环境效益。四是推动了环境保护部门自身的建设。按国务院关于排污费使用的规定,征收排污费的20%可用于环保业务补助,这笔资金对开展环境监测、环境科研、干部培训等业务提供了重要资金来源。五是促进了新建、改建、扩建单位严格执行“三同时”制度,防止新污染源的产生。目前征收排污费还存在一些不完善、不合理的地方,如征收标准偏低,排放多种污染物的只按一种收费,资金管理和使用也不够完善,影响了环保投资效果。为此,国家已提出“强化征收、加强管理、改革使用”的要求。如在《水污染防治法》中,就对《环保法》作了大的改进,该法明确规定:“企业事业单位向水体排放污染物的,按照国家规定缴纳排污费;超过国家或地方规定的污染物排放标准的,按照国家规定缴纳超标准排污费,并负责治理。”这表明我国征收排污费的政策已发展到了新的阶段。

(2)征收排污费的标准及增收减收规定

1982年2月国务院公布了《征收排污费暂行办法》。该《办法》规定,对超过规定标准排放污染物的企业单位要征收排污费;对其他排污单位,要征收采暖锅炉烟尘排污费。同时公布了《排污费征收标准》表,包括废气、废水、废渣三个方面。在执行《排污收费标准》时,对工业密集、污染特别严重的个别大、中城市,经国务院环境保护管理部门批准,对收费标准可作适当调整;排污单位同一排污口有两种以上有害物质时,应按收费最高的一种计算;地方性排放标准增加的污染项目,由省、自

治区、直辖市人民政府参照国家《排污收费标准》规定征收标准。

排污收费是促进企业防治污染的一种经济手段。企业超标排污造成经济损失和环境贬值,损害人群健康,因此不允许企业以牺牲环境为代价获取利润。制定排污收费定额不能偏低,否则企业宁可花钱买排污权而不去进行治理,这就决定征收排污费的数量应以能刺激和推动企业防治污染为原则,且实行累进制,超过某一排污限值,收费按一定比例增加。此外,地区不同,比如污染源密度大的地方和密度小的地方,河流的上游和下游,上风向和下风向,收费标准也不同,以便鼓励在一些地方发展工业,在另一些地方不鼓励发展工业,使布局合理;排污收费还要考虑时间因素。排污单位在接到环保部门缴费通知单后的 20 天内,应向指定银行缴纳排污费。逾期不缴的,每天增收滞纳金 1‰。对缴纳排污费后仍未达到排放标准或拖延时间不积极防治者,从开征后第 3 年起每年按征收标准递增 5 %。而且随着经济发展和人民生活水平的提高,会对环境质量的要求越来越高,也将使排污收费标准提高。

(3)排污费的列支和使用

企业单位缴纳的排污费,可从生产成本中列支。提高征收标准的部分,全民所有制企业在利润留成或企业基金中列支;实行“利改税,独立核算,自负盈亏”的全民所有制企业和集体所有制企业,在缴纳所得税后的利润中列支。事业单位缴纳的排污费,先从单位包干结余和预算外资金中开支,如有不足,可从事业费中列支。上述把排污费纳入生产成本,意味着防治污染是企业的必要劳动,该项劳动的成效会影响企业的利润和职工福利。规定提高征收标准的费用在企业可以支配的利润中列支,这实际上是把带有处罚性质的加倍收费与工厂福利、职工收入挂上了钩,直接关系到职工的切身利益。

关于排污费的使用,按国务院规定,主要作为环境保护补助资金,按专项资金管理。环境保护补助资金,由环境保护部门会同财政部门统筹安排使用;要坚持专款专用,先收后用,不能超支、挪用。如有节余,可以结转下年使用。环境保护补助资金,应当主要用于重点排污单位治理污染源以及环境污染的综合性治理措施,也可适当用于补助环境保护部门监测仪器设备的购置。

(4)征收排污水费

征收排污水费的目的是为了控制污水排放量,节约水资源,减少水污染。这项制度规定,凡向水体中排放污水的单位,均要缴纳排污水费。缴纳排污水费的企业事业单位向水体排放污染物超过国家或地方规定的污染物排放标准者,要同时按规定标准征收超标排污费,并负责治理。由此可见,排污水费的征收,标志着我国的排污收费政策又向前迈进了一步。

上述三项制度反映了我国在开创环境保护事业的初期,对防治环境污染所采取的对策。显然,这三项制度是以污染源控制为对象,以单项治理为主体,以控制

污染源排放浓度和防止污染事故为目标的直接行政控制体系,它对治理一些危害大、扰民严重的污染源,控制新建项目可能带来的环境损害起了很大的作用。但是,随着我国改革开放的不断深入,中国的环境问题不仅有因历史原因而欠下的老账,而且还有不断发展的经济建设带来的新问题。由点源防治向区域综合整治转变,由定性管理向定量管理转变,标志着我国环境保护事业发生了飞跃,这种飞跃主要体现在下述五项制度中。

4. 环境保护目标责任制

环境保护目标责任制是各项环境管理制度的"龙头",它确定了一个区域、一个部门或单位环境保护的主要责任者和责任范围。各地可根据本地区的实际情况,确定责任制的考核指标和方法,既可以有环境质量指标,也可以有为达到环境质量所要完成的工作指标,既可以将上述三项老制度纳入责任状,也可将其他四项制度纳入责任状,所以从环境管理角度上看,这项制度带有全局性。

(1)环境保护目标责任制的作用

实施环境保护目标责任制的具体作用是:它加强了各级政府和单位对环境保护的重视和领导,使环境保护真正纳入各级政府的议事日程,把环境保护纳入国民经济和社会发展计划,疏通了环保资金渠道;有利于协调环保部门与政府各部门共同抓好环保工作;有利于把环保工作从过去的软任务变成硬指标,把过去单项分散治理变成区域综合防治。

(2)环境保护目标责任制的实施程序

环境保护目标责任制的实施程序通常有下述四个阶段。一是制定阶段。主要由各级政府组织有关部门和单位,根据环境目标的要求,通过广泛调查和充分协商,确定实施责任制的基本原则,建立考核指标体系,制定责任书的具体内容;二是责任书下达阶段,以签定责任状的形式,把责任目标正式下达,把各项指标逐级分解,层层落实;三是实施阶段,在各级政府的统一领导下,责任单位和责任者分头组织落实,采取有效措施,保证责任目标的完成,政府和有关部门对责任书的执行情况定期检查、调度;四是考核阶段,责任书期满,先逐级自查,然后由政府组织力量对完成情况进行考核,根据考核的结果给予奖励或处罚。

(3)环境保护目标责任书的制定

目标责任书的制定原则,主要是确定地方行政首长和企业法人对本地区、本企业环境质量应负的责任,本着积极稳妥的原则,确定具体的责任目标。这个目标既要有一定的难度,又要科学合理,实事求是,要根据国家要求和本地区、本行业的实际情况,抓住重点,兼顾一般。

责任书的指标体系一般分为两部分:一是本届政府的环境指标;二是分年度的工作指标。前者的基本内容是本届政府预期达到的城市环境综合整治定量考核的

综合得分,以及各具体考核指标的得分;后者主要根据任期目标按年度制定具体工作指标,一般包括城市环境综合整治定量考核、城市环境建设项目、重点污染源治理项目、强化环境管理等内容。

5. 城市环境综合整治定量考核制度

所谓城市环境综合整治,就是把城市环境作为一个系统,运用系统工程理论和方法,采取多目标、多层次的综合手段和措施,对城市环境进行综合管理、控制,以最小投入换取城市环境质量优化,做到"经济建设、城乡建设、环境建设同步规划、同步实施、同步发展"。城市环境综合整治定量考核,不仅使城市环境综合整治工作定量化、规范化,而且还增强了透明度;引进了社会监督机制。

原国家环保局从 1989 年起开始对全国环境保护重点城市进行环境综合整治定量考核,考核的内容涉及环境质量、污染控制、环境建设和环境管理。"九五"期间考核的范围逐步扩大至地、县一级城市。目前,全国除青海、西藏外,其余 29 个省、自治区、直辖市都开展了省辖城市环境综合整治定量考核,并对 46 个环境保护重点城市直接进行考核。通过考核机制,各城市着力加强辖区内环境污染防治、环境保护资金投入和城市环境基础设施建设,考核结果为各级城市政府制订下一阶段的环境保护规划提供了决策性依据。

定量考核的内容和指标,包括大气环境保护(35 分)、水环境保护(30 分)、噪声控制(15 分)、固废处置与综合利用 (15 分)以及绿化 (5 分)共 5 个方面,21 项指标。其中考核城市环境质量的指标有 6 项,计 37 分,包括大气总悬浮微粒年日平均值、二氧化硫年日平均值,饮用水源水质达标率、城市地面水 COD 平均值、区域环境噪声平均值和城市交通干线噪声平均值;考核城市污染控制能力的指标有 9 项,计 37 分,包括烟尘控制区覆盖率、工艺尾气达标率、汽车尾气达标率、万元产值工业废水排放量、工业废水处理率、重点企业工业废水排放达标率、环境噪声达标区覆盖率、工业固体废物综合治理率及工业固体废物综合利用率。考核城市基础设施水平的计有 6 项,共 26 分,包括城市气化率、城市热化率、民用型煤普及率、城市污水处理率、生活垃圾无害化处理率和建成区绿化覆盖率。每项指标分为 10 个等级,根据得分多少排序。选取上述考核指标的基本原则,一是突出城市环境综合整治的重点是消除水、气、渣和噪声污染"四害",其中环境质量指标计有 6 项;二是突出综合整治,其中考核城市污染控制能力和城市环境建设水平的指标计有 15 项,考核城市综合防治污染采取的手段与措施方面的指标计有 5 项 (如热化率、气化率、民用型煤普及率、建成区人均公共绿地面积以及烟尘控制区覆盖率);三是上述指标数据必须是现行环境监测、统计所能提供的。

6. 排污许可证制度

排污许可证制度是以改善环境质量为目标,以污染物控制总量为基础,对排放污染物的种类、数量、性质、去向、排放方式等所作的具体规定;是一项具有法律含义的行政管理制度。我国目前主要推行水污染物排污许可证制度,关于大气污染目前还处在研究和初试阶段。由于此项制度的技术性很强,而我国又缺少推广这项制度的成熟经验,所以目前实行的水污染排污许可证制度只限于封闭水体和重点保护水域。所谓封闭水体,系指湖泊、水库、池塘等一些停留时间较长的水体,这类水体水力学特征较为稳定,最大允许纳污量计算比较容易、准确;重点保护水域,主要指饮用水源地,或流域中有特殊价值的水体。这类水体一般基础监测数据比较完整,水体历史状况和现状都较清楚。另一方面从水体功能来说,也常要求控制纳污总量(不是污染物浓度),因此,它们是水环境管理的重点,必须实行排污许可证制度。

实行排污许可证制度,通常有三个环节:一是排污的申报登记,包括排污单位的基本情况,生产工艺、产品和材料消耗情况(包括用水量,用煤量),污染排放状况(包括排放污染物种类,排放时间,方式,排放去向,排放强度),污染处理设施建设、运行情况,排污单位的地理位置和平面示意图。单位的申报登记表报齐后,环保部门就要汇总归档。汇总的主要内容是:各类污染物的日排放量、年排放总量、按污染排放量大小对申报单位排序编号,绘制区域污染物排放状况示意图,标出排污口位置、排放污染物种类、数量、浓度等,对各单位的排污情况进行系统分析,确定重点污染物控制对象;二是污染物排放总量的规划分配,为此需要确定污染物排放总量控制指标,并分配污染物总量削减指标。一个地区要科学地确定污染物总量控制指标,合理地分配污染物的削减指标,就必须对当地的环境目标、经济发展、技术和财政状况等因素进行综合系统分析。在总量控制指标分配中,常采用的方法是:最优组合治理方案的分配 (即将保护对象作为一个大的系统,在保证环境功能和目标的前提下,运用系统分析方法;确定投资最小的最佳分配方案)、等比例分配(即以现状排污量为基础,根据污染源评价中的排污分担率、按同一比例确定各污染源的总量控制指标)、加权分配法(即由现状排污总量和总量控制指标值确定污染物的削减总量,需要削减的排污量按各污染在现状排污总量中的密度承担)、分区加权分配法、排污指标有偿分配(即以排污收费和污染治理费用为依据,确定排污指标的“价格”,实行有偿分配)、行政协调分配等。三是审核发证及许可证的监督管理。排污许可证的审核批准,主要是对排污量、排放方式、排放时间、排放口位置加以限制,使每个污染源排污总量之和必须与总量控制指标相一致,并留有一定余地。因此许可证的审核颁发工作,应有专人管理,从申报、审核、批准到变更许可证均应有一套完整的程序,并建立健全的管理体系。这个体系应当组织严密,管理

灵活,要保证总量监测的规范化,抽查监督制度化,发现排污单位违反许可证的应及时处置,直至吊销其许可证。

7. 污染集中控制制度

我国过去在很长一段时间内,由于对环境管理的认识不够,在污染源的分散治理上花了很大的财力、物力,但效果不显著,终于使我们认识到污染控制应该走集中与分散相结合,但以集中控制为主的发展方向,以便充分发挥规模效应的作用。例如某厂为使含酚 100×10^{-6} 的废水达标排放,采用二级处理。在一级处理中采用加压气浮,废水含酚量一下子降至 10×10^{-6},再用生物处理法进行处理,经济上就不合算了,有时甚至因废水含酚量低,生物处理难以进行,所以不能一律各厂分散处理达标,而是应该要求各厂处理达到规定程度,然后集中进行处理。但是集中治理并不意味着企业防治污染的责任减轻了。因为第一,集中治理要以分散治理为基础。各单位分散防治如达不到要求,集中处理便难以正常运行,只有集中与分散相结合,合理分担,使各单位的分散防治经济合理,才能把环境效益与经济效益统一起来。第二,污染集中处理的资金,仍然按照"谁污染谁治理"的原则,主要由排污单位和受益单位以及城市建设费用中解决。第三,对一些危害严重、不易集中治理的污染源,以及一些大型企业或远离城镇的企业,仍应进行分散的点源治理。

集中控制的方式,对废水而言,可采取工厂对废水先进行预处理,而后送到城市污水处理厂进行集中处理;或以大型企业为骨干,实现企业的联合集中处理;或对同行业水质相似的废水采用合并处理,实行排污有偿服务;对废气而言,可采取集中供热、连续集中供暖,民用燃料向气体化方向发展,提高城市气化率,或者回收企业放空的可燃性气体,集中起来供给居民使用;加速"烟尘控制区"建设,对烟尘加强管理和治理;对有害固体废物而言,建设生物工程处理场、集中填埋场、固体废物处理厂等,回收利用有用物质,把废物变成能源。

8. 污染限期治理制度

所谓污染限期治理,就是在污染源调查、评价的基础上,突出重点,分期分批地对污染危害严重、群众反映强烈的污染源、污染物、污染区域采取限定治理时间、治理内容及治理效果的强制性措施,是人民政府为保护人民群众利益对排污单位和个人采取的法律手段。我国在确定限期治理项目时采取的原则是:

第一,以污染源调查为基础,以环境规划为依据,实行与环境综合整治、污染物总量控制相结合,解决突出的环境问题。

第二,坚持强制与自觉相结合的原则。即对一些污染危害严重,不治理就会造成严重后果的污染源,必须强制限期治理,限期治理单位必须无条件地按期完成任务。但是强制还是应与自觉结合,只有企业的自觉主动,才能使限期治理任务完成

得较为圆满,不仅能取得明显的环境效益、社会效益,而且也能取得较好的经济效益。

第三,必须从国情、当地实际情况出发,实事求是,既要考虑环境保护的需要,又要考虑实施的可能性。列入限期治理的项目,首先要求技术是成熟的,治理工艺和技术不过关的,不能列为限期治理项目。其次要资金基本落实,资金很少甚至一点都没有的不能列为限期治理项目,但要等资金全部落实才能列为限期治理项目的说法和思想也不能容许,要体现出强制的作用。

第四,必须坚持"谁污染谁治理"的原则,限期治理的资金主要应由造成污染的单位负责解决,国家只是对一些投资很大的限期治理项目承担一部分治理费用。

限期治理的范围,包括区域性限期治理、行业性限期治理和污染源限期治理。区域性限期治理除了进行必要的点源治理外,还要考虑调整工业布局、经济结构、技术改造、市政建设和改造;行业性限期治理,诸如造纸黑液的限期治理,机械行业锅炉生产的限期和改造更新,汽车尾气的机内净化等,此外也包括产品结构、原材料、能源结构、工艺和设备的调整与更新。限期治理的重点,主要是那些污染危害严重、群众反映强烈的污染物、污染源,包括一些位于居民稠密区、水源保护区、风景游览区、自然保护区、温泉疗养区、城市上风向等环境敏感区,污染物排放超标,危害职工和居民健康的企业,区域或水域环境质量十分恶劣,有碍观瞻、损害景观的区域或水域的环境综合治理项目,污染范围广、危害较大的行业污染项目,以及其他一些必须限期治理的污染企业,如重大污染事故隐患等。

第二节　环境影响评价
(Environmental Impact Assessment)

18.2.1　环境影响评价概述(Introduction)

1. 环境影响评价的目的

按照ISO14001标准的定义,环境影响是"全部或部分组织的活动,产品或服务给环境造成的任何有益或有害的变化"。广义地理解,环境影响是人类活动给环境造成任何有益或有害的变化,但是人们更关心的是负面的影响,即有害的变化。环境影响评价的目的,是在开发活动或决策之前,全面地评估人类活动给环境造成的显著变化,并提出减免措施,从而起到"防患于未然"的作用。环境影响评价应做到以下几方面:

①基本上适应所有可能给环境造成显著影响的项目,并且应当识别和评估这些影响。

②对各种替代方案、管理技术及减免措施进行比较。

③编写出清楚的环境影响报告书,使专家和非专家都可以了解影响的特征及

重要性。

④应有广泛的公众参与和严格的行政审查。

⑤能够为决策提供信息。

2. 环境影响评价的分类

根据人类活动的类型,可以将环境影响评价分为三种类型:

①单个建设项目的环境影响评价。这是我国目前开展得最多的一种环境影响评价,它与可行性研究同时进行。

②区域开发的环境影响评价。这种评价将区域作为一个总体进行考虑,重点考察区域内的产业结构、建设项目的布局的环境影响,从而为区域开发提供依据。

③公共政策的环境影响的评价。在世界上一些国家,法律规定凡是可能给环境造成潜在重大影响的公共政策,都必须进行环境影响的评价。这项工作在我国才刚起步。

从对单个项目到区域开发,再到对公共政策进行环境影响的评价,从时间上看,环境影响的评价介入的时间越来越提前,从空间上来看,涉及的地域越来越广。这反映出人们对环境影响评价的重要性的认识在逐步地深化。

3. 环境影响评价的意义

环境影响评价是管理工作的重要组成部分,它具有不可代替的预知功能、导向作用和调控作用。对开发项目而言,它可以保证建设项目的选址和布局的合理性,它同时也可以提出各种减免措施和评价各种减免措施的技术经济可行性,从而为污染治理工程提供依据。区域环境影响评价和公共政策的环境影响评价,可以在更高层次上保证区域开发和公共决策对环境的负面影响降低到最少或人们可以接受的程度。

18.2.2 环境影响评价制度(EIA System)

1. 环境影响评价制度的建立与发展

用法律的形式规定环境影响评价是一个必须遵守的制度,叫"环境影响评价制度"。于1969年颁布的《美国国家环境政策法》(NEPA)第102条规定:所有联邦政府机构应在提交每一项对人类环境质量有重大影响的立法提案、报告以及其他重要的联邦行动之前,均应由负责官员提供一份环境影响的报告书(EIS)。这份报告书应清楚阐述以下内容:

①拟议中的行动会对环境产生的影响。

②如果计划付诸实施对环境不可避免的损害。

③该行动的替代方案。

④地方对环境的短期利用与长期维护及促进生产力之间的关系。

⑤计划实施所造成的不可逆或不可恢复的资源损失。

美国各州政府也颁布了类似的法规,通常用“环境影响报告”(EIR)来代替“环境影响报告书”(EIS)。30 年来,美国环境影响评价的方法和程序有了许多变化,对环境影响评价的要求也从联邦和州扩大到私人企业。

瑞典(1970 年)、前苏联(1972 年)、加拿大(1973 年)、澳大利亚(1974 年)、马来西亚(1974 年)、德国(1976 年)、菲律宾(1979 年)、泰国(1979 年)、中国(1979 年)等国也相继建立了环境影响评价制度。1992 年联合国在里约热内卢召开的环境与发展大会通过的《里约环境与发展宣言》写道:对于拟议中可能对环境产生重大不利影响的活动,应进行环境影响的评价。环境影响评价作为一种国家手段应由国家当局做出决定。据统计,全世界已有 100 多个国家建立了环境影响评价制度。

在环境影响评价制度为越来越多的国家所接受的同时,环境影响评价的内容也在不断深化,评价的对象从建设项目逐步转移到了区域开发,再由区域开发逐步转移到公共政策。对累积性影响、非污染生态影响、风险性评价和环境影响的经济评价的工作也在逐步深入。

2　中国的环境影响的评价制度

在 20 世纪 70 年代初我国就已开展一些零星环境质量评价的探索工作。我国的环境影响评价制度的建立应该以 1979 年 9 月颁布的《中华人民共和国环境保护法(试行)》为标志。该法以法律的形式正式规定了我国实施环境影响评价制度。1989 年颁布的《中华人民共和国环境保护法》第三条规定:“建设污染环境的项目,必须遵守国家有关建设项目环境管理的规定。”该法还规定“建设项目的环境影响报告书,必须对建设项目产生的污染和对环境的影响作出评价,规定防治措施,经项目主管部门预审,并依照规定的程序报环境保护行政主管部门批准。环境影响报告书经批准后,计划部门方可批准建设项目设计任务书。”

我国已形成比较完善的环境影响评价的法律体系,它由法律、行政法规、部门行政规章和地方性法规组成。

1986 年 3 月颁布的《基本建设项目环境保护管理办法》,明确把环境影响评价制度纳入到基本建设项目审批程序中;国务院环境保护委员会、国家计委、国家经贸委 1986 年颁布的《建设项目环境保护管理办法》,对建设项目环境影响评价的范围、程序、审批和报告书(表)编制格式都做了明确规定;国家环保局 1986 年颁布《建设项目环境影响评价证书管理办法(试行)》,开始了对从事环境影响评价的单位的资质审查;国家环保局陆续颁布了《关于建设项目环境管理问题的若干意见》(1988 年)、《关于重审核设施环境影响报告书审批权限问题的通知》(1989 年)、《建设项目环境影响评价证书管理办法》(1989 年)、《关于颁发建设项目环境影响评价

收费标准的原则与方法(试行)的通知》(1989 年)等一系列文件。

与此同时,各地方根据《建设项目环境保护管理办法》制订了以适用于本地的建设项目,环境管理办法的实施细则为主体的地方环境影响评价行政法规,各行业主管部门也陆续制订了建设项目环境保护管理的行业行政规章,初步形成了国家、地方、行业相配套的建设项目环境影响评价的多层次法规体系。

1998 年国务院发布实施的《建设项目环境保护条例》和 2002 年颁布的《环境影响评价法》对环境影响评价做出了明确的规定。为了贯彻落实该法规,国家环保局陆续公布了《建设项目环境影响评价资格证书管理办法》、《建设项目环境保护分类管理名录》、《关于执行建设项目环境评价制度有关问题的通知》等。

3. 中国环境影响评价制度的特点

中国环境影响评价制度具有以下几个特点:

①具有法律强制性。如前所述,现行的重要环境保护法律对环境影响评价做了明确的要求,具有不可违抗的强制性。

②纳入基本建设程序。未经环境保护主管部门批准环境影响报告书的建设项目,计划部门不办理设计任务书的审批手续,土地部门不办理征地,银行不予贷款。环境影响评价在基本建设程序具有非常重要的地位。

③分类管理。对造成不同程度环境影响的建设项目实行分类管理。如对环境有重大影响的项目必须编写环境影响报告书;对环境影响较小的项目应编写环境影响报告表;对环境影响很小的项目,可只填报环境影响登记表。评价工作的重点也各有侧重:新建项目的评价重点主要是合理布局、优化选址和总量控制;扩建和技术改造项目的评价重点是工程实施前后可能对环境造成的影响及"以新带老"。

④评价以工程项目和污染影响为主。长期以来我国的环境影响评价以工程项目为主,较少对区域开发和公共政策进行环境影响评价,同时评价的重点往往是污染影响,而不是非污染生态影响,对经济和社会的影响评价就进行得更少。但随着《环境影响评价法》的颁布和实施,这种情况将逐渐改变。

18.2.3 我国环境影响评价程序和内容(EIA Procedure and Contents)

1. 中国环境影响评价的管理程序

(1)建设项目的分类筛选

根据《建设项目环境保护管理条例》第七条和国家环境保护总局"分类管理名录"规定,建设项目应编制环境影响报告书、环境影响报告表或填报环境影响登记表。

①编写环境影响报告书的项目。是指对环境可能造成重大的影响,这些影响可能是敏感的、不可逆的、综合的或以往尚未有过的、对这类项目产生的污染和对

环境的影响应进行全面、详细的评价。

②编写环境影响报告表的项目。是指可能对环境产生轻度的不利影响,这些影响是较小的或者容易采取减免措施的,通过规定控制或补救措施可以减免对环境的不利影响,这类项目应编写环境影响报告表,对其中个别环境要素或污染因子需要进一步分析的,可附单项环境影响评价专题报告。

③填报环境保护管理登记表的项目。不对环境产生不利影响或影响极小的建设项目,这类项目不需要开展环境影响评价,只需填写环境影响的登记表。对需要进行环境影响评价的项目,建设单位应委托有相应评价资格证书的单位来承担。

(2)评价大纲的审查

编制环境影响报告书之前,评价单位应编制评价大纲。评价大纲是环境影响报告书的总体设计。评价大纲由建设单位向负责审批的环境保护部门申报,并抄送行业主管部门。环境保护部门根据情况确定审评方式,提出审查意见。评价单位依据经过审批大纲开展环境影响的评价工作。

(3)环境影响评价报告书的审批

评价单位编制的环境影响报告书由建设单位负责报主管部门预审,主管部门提出预审批意见后转报负责审批的环境保护部门,环保部门一般组织专家对报告书进行评审。在专家审查中若有修改意见,评价单位应对报告书进行修改。审查通过后的环境影响报告书由环保主管部门批准后实施。

各级主管部门和环保部门在审批环境报告书时应重点审查该项目是否符合有关要求:是否符合国家产业政策;是否符合区域发展规划与环境功能规划;是否符合清洁生产的原则,采用了最佳可行技术来控制环境污染;是否做到污染物达标排放;是否满足国家和地方规定的污染物总量控制指标;建成后是否能维持地区环境质量。

2　环境影响评价的工作程序

环境影响评价的工作程序如图 18 2 所示,《环境影响评价技术导则》(HT/ T 2 1—93)总纲规定,环境影响评价工作大体分为三个阶段:第一阶段为准备阶段,主要工作为研究有关文件,进行初步的工程分析和环境现状调查,筛选重点评价项目,确定各单项环境影响评价的工作等级,编制评价大纲;第二阶段为正式工作阶段,其主要工作为详细的工程分析和环境现状调查,并进行环境影响预测和评价环境影响;第三阶段为报告书编制阶段,其主要工作为汇总、分析第二阶段工作所得的各种资料、数据,给出结论,完成环境影响报告书的编制。

(1)工作等级的划分

环境影响评价工作等级是以下列因素为依据进行划分的:

①建设项目的工程特点。工程性质、工程规模、能源及资源(包括水)的使用量

图 18.2 环境影响评价的工作程序

及类型、污染物排放特点(排放量,排放方式,排放去向,主要污染物种类,性质,排放浓度)等。

②建设项目所在地区的环境特征。自然环境特点、环境质量现状及社会经济环境状况等。

③国家和地方政府所颁发的有关法律法规(包括环境质量标准和污染物排放标准)。

对于某一具体建设项目,在划分各评价项目的工作等级时,根据建设项目对环境的影响、所在地区的环境特征或当地对环境的特殊要求等情况可作适当调整。

(2)评价大纲的编制

评价大纲应在开展评价工作之前编制,它是具体指导建设项目环境影响评价的技术文件,也是检查报告书内容和质量的主要判据,其内容应该尽量具体、详细。评价大纲一般应在充分研读有关文件、进行初步的工程分析和环境现状调查后编制。评价大纲一般应包括以下内容。

①总则。评价任务的由来、编制依据、控制污染与保护环境的目标、采用的评价标准、评价项目及其工作等级和重点等。

②建设项目概况(如为扩建项目应同时介绍现有工程概况)。

③拟建地区的环境简况(附位置图)。

④建设项目工程分析的内容与方法。根据当地环境特点、评价项目的环境影响评价工作等级与重点等因素,说明工程分析的内容、方法和重点。

⑤建设项目周围地区的环境现状调查,包括一般自然环境与社会环境现状调查和环境中与评价项目关系较密切部分的现状调查。应根据已确定的各评价项目工作等级、环境特点和影响预测的需要,尽量详细地说明调查参数、调查范围及调查的方法、时期、地点、次数等。

⑥环境影响预测与评价建设项目的环境影响。根据各评价项目的工作等级、环境特点,尽量详细地说明预测方法、预测内容、预测范围、预测时段以及有关参数的估值方法等。如进行建设项目环境影响的综合评价,应说明拟采用的评价方法。

⑦评价工作成果清单、拟提出的结论和建议的内容。

⑧评价工作的组织、计划安排。

⑨评价工作的经费概算。

(3)工程分析

①工程分析的对象。主要从下列几方面分析建设项目与环境影响有关的情况。通过对工艺流程各环节的分析,了解各类影响的来源,各种污染物的排放情况,各种废物的治理、回收、利用措施及其运行与污染物排放间的关系等。通过对建设项目资源、能源、废物等的装卸、搬运、储藏、预处理等环节的分析,掌握与这些环节有关的环境影响来源的各种情况。分析由于建设项目的建设和运行,使当地及附近地区交通运输量增加所带来的环境影响。通过了解拟建项目对土地的开发利用,了解土地利用现状和环境间的关系,以分析项目用地开发利用带来的环境影响。对建设项目生产运行阶段的开车、停车、检修、一般性事故和泄漏等情况时的污染物不正常排放进行分析,找出这类排放的来源、发生的可能性及发生的频率

等。

②工程分析的方法。当建设项目的规划、可行性研究和设计等技术文件不能满足评价要求时,应根据具体情况选用适当的方法进行工程分析。目前采用较多的工程分析方法有类比分析法、物料平衡计算法、查阅参考资料分析法等。

类比分析法要求时间长,工作量大,所得结果较准确。在时间允许、评价工作等级较高,又有可供参考的相同或相似的现有工程时,应采用此方法。如果同类工程已有某种污染物的排放系数时,可以直接利用此系数计算建设项目该种污染物的排放量,不必再进行实测。

物料平衡计算法以理论计算为基础,比较简单。但计算中设备运行均按理想状态考虑,所以计算结果有时偏低。此方法不是所有的建设项目均能采用,具有一定局限性。

查阅参考资料分析法最为简便,但所得数据准确性差。当评价时间短,且评价工作等级较低时,或在无法采用以上两种方法的情况下,可采用此方法。此方法还可以作为以上两种方法的补充。

(4)所在地区环境现状的调查

①环境现状调查的一般原则。根据建设项目所在地区的环境特点,结合各单项影响评价的工作等级,确定各环境要素的现状调查范围,并筛选出应调查的有关参数。进行环境现状调查时,首先应搜集现有的资料,当这些资料不能满足要求时再进行现场调查和测试。环境现状调查中,对环境中与评价项目有密切关系的部分(如大气、地面水、地下水等)应全面、详细;对这些部分的环境质量现状应有定量的数据并做出分析或评价;对一般自然环境与社会环境的调查,应根据评价地区的实际情况进行评价。

②环境现状调查的方法。环境现状调查的方法主要有三种,即收集资料法、现场调查法和遥感的方法。

收集资料法应用范围广、收效大,比较节省人力、物力和时间。环境现状调查时,应首先通过此方法获得现有的各种有关资料,但此方法只能获得第二手资料,而且往往不全面,不能完全符合要求,需要其他方法补充。

现场调查法可以针对使用者的需要,直接获得第一手的数据和资料,以弥补收集资料法的不足。这种方法工作量大,需占用较多的人力、物力和时间,有时还可能受季节、仪器设备等条件的限制。

遥感的方法可从整体上了解一个区域的环境特点,可以弄清人类无法达到地区的地表环境情况,如一些大面积的森林、草原、荒漠、海洋等。但此方法不十分准确,不宜用于微观环境状况的调查,一般只用于辅助性调查。在环境现状调查中使用此方法时,绝大多数情况不使用直接飞行拍摄的办法,只判读和分析已有的航空或卫星照片。

③环境现状调查的内容。环境现状调查包括的内容非常广泛,如地理位置、地质、地形地貌、气候与气象、地面水环境、地下水环境、大气环境质量、土壤与水土流失、动植物与生态、噪声、社会经济、人口、工业与能源、农业与土地利用、交通运输、文物与景观、人群健康状况等等。

(5)建设项目的环境影响预测

①环境影响预测的原则。预测的范围、时段、内容及方法均应根据其评价工作等级、工程与环境的特性、当地的环保要求而定。同时应尽量考虑预测范围内,规划的建设项目可能产生的环境影响。

②建设项目环境影响预测的方法。目前使用较多的预测方法有数学模式法、物理模型法、类比调查法和专业判断法。

数学模式法能给出定量的预测结果,但需一定的计算条件和输入必要的参数、数据。一般情况此方法比较简便,应首先考虑。选用数学模式时要注意模式的应用条件,如实际情况不能很好满足模式的应用条件而又拟采用时,要对模式进行修正并验证。

物理模型法定量化程度较高,再现性好,能反映比较复杂的环境特征,但需要有合适的试验条件和必要的基础数据,且制作复杂的环境模型需要较多的人力、物力和时间。在无法利用数学模式法预测而又要求预测结果定量精度较高时,应选用此方法。

类比调查法的预测结果属于半定量性质。如由于评价工作时间较短等原因,无法取得足够的参数、数据,不能采用前述两种方法进行预测时,可选用此方法。

专业判断法则是定性地反映建设项目的环境影响。建设项目的某些环境影响很难定量估测(如对文物与景观的环境影响),或由于评价时间过短等原因无法采用上述三种方法时,可选用此方法。

③预测的范围。一般情况下预测范围等于或略小于现状调查的范围。在预测范围内应布设适当的预测点,通过预测这些点所受的环境影响,由点及面反映该范围所受的环境影响。预测点的数量与布置,因工程和环境的特点、当地的环保要求及评价工作的等级不同而不同。

④预测的内容。对评价项目环境影响的预测,是指对能代表评价项目的各种环境质量参数变化的预测。环境质量参数包括两类:一类是常规参数,一类是特征参数。前者反映该评价项目的一般质量状况,后者反映该评价项目与建设项目有联系的环境质量状况。各评价项目应预测的环境质量参数的类别和数目。与评价工作等级、工程和环境的特性及当地的环保要求有关。

(6)环境影响报告书的编制

环境影响报告书应全面、概括地反映环境影响评价的全部工作,文字应简洁、准确,并尽量采用图表和照片,以使提出的资料清楚,论点明确,利于阅读和审查。

原始数据、全部计算过程等不必在报告书中列出,必要时可编入附录。所参考的主要文献应按其发表的时间次序由近至远列出目录。评价内容较多的报告书,其重点评价项目另编分项报告书,主要的技术问题另编专题技术报告。环境影响报告书一般包括以下篇章:

总则

按照环境影响评价技术导则的要求,根据环境和工程的特点及评价工作的等级,可以选择下列内容编写环境影响报告书。

①结合评价项目的特点阐述编制环境影响报告书的目的。

②编制依据。包括项目建议书、评价大纲及其审查意见、评价委托书(合同)或任务书、建设项目可行性研究报告等。

③采用标准。包括国家标准、地方标准或拟参照的国外有关标准(参照的国外标准应按国家环境保护局规定的程序报有关部门批准)。

④控制污染与保护环境的目标。

建设项目概况

①建设项目的名称、地点及建设性质。

②建设规模(扩建项目应说明原有规模)。

③土地利用情况和发展规划。

④产品方案和主要工艺方法。

⑤职工人数和生活区布局,占地面积及厂区平面布置(应附平面图)。

工程分析

报告书应对建设项目的下列情况进行说明,并作出分析:

①主要原料、燃料及其来源和储运,物料平衡,水的用量与平衡,水的回用情况。

②工艺过程(附工艺流程图)。

③废水、废气、废渣、放射性废物等的种类、排放量和排放方式,以及其中所含污染物种类、性质、排放浓度;产生的噪声、振动的特性及数值等。

④废弃物的回收利用、综合利用和处理、处置方案。

⑤交通运输情况及场地的开发利用。

建设项目周围地区的环境现状

①地理位置(应附位置图)。

②地质、地形、地貌和土壤情况,情况。河流、湖泊(水库)、海湾的水文情况、气候与气象情况。

③大气、地面水、地下水和土壤的环境质量状况。

④小矿藏、森林、草原、水产和野生动物、野生植物、农作物等情况。

⑤自然保护区、风景游览区、名胜古迹、温泉、疗养区以及重要的政治文化设施

的情况。

⑥社会经济情况,包括现有工矿企业和生活居住区的分布情况、人口密度、农业概况、土地利用情况、交通运输情况及其他社会经济活动情况。

⑦人群健康状况和地方病情况。

⑧其他环境污染、环境破坏的现状资料。

环境影响预测

①预测环境影响的时段。

②预测范围。

③预测内容及预测方法。

④预测结果及其分析和说明。

评价建设项目的环境影响

①建设项目环境影响的特征。

②建设项目环境影响的范围、程度和性质。

③如要进行多个厂址的优选时,应综合评价每个厂址的环境影响并进行比较和分析。

环境保护措施评述及技术经济论证,并提出各项措施的投资估算(列表)

环境影响经济损益分析

环境监测制度及环境管理、环境规划的建议

环境影响评价结论

18.2.4　环境影响评价进展介绍(EIA Trends)

随着 EIA 研究和实践的深入,EIA 顺应可持续发展的要求,在理论和实践上有了许多新进展。其中有些"进展",其思想或萌芽也许早就产生,但最近几年才得以重视和发展。

1.《环境影响评价法》的通过

2002 年 10 月 28 日,九届全国人大常委会第三十次会议讨论通过了《中华人民共和国环境影响评价法》(见附录),并于 2003 年 9 月 1 日开始实施。《环境影响评价法》在历经四年的讨论、修改后最终获得通过,是我国环保事业的历史性突破,对于落实环境保护基本国策和实施可持续发展战略至关重要。

近几十年我国经济发展的历史表明,相对于具体的建设项目而言,政府及其有关部门制定的某些经济发展规划如果出现失误,实施后对环境的影响范围更大。如果不从政府的经济发展规划和开发建设活动的源头预防环境问题的产生,我国的现代化进程中还将付出更大的环境代价和经济代价。《环境影响评价法》则将环评的范围从建设项目扩大到政府规划,该法明确规定,"国务院有关部门、设区的市

级以上地方人民政府及其有关部门,对其组织编制的土地利用的有关规划,区域、流域、海域的建设、开发利用规划,应当在规划编制过程中组织进行环境影响评价,编写该规划有关环境影响的篇章或者说明”,“对其组织编制的工业、农业、畜牧业、林业、能源、水利、交通、城市建设、旅游、自然资源开发的有关专项规划,应当在该专项规划草案上报审批前,组织进行环境影响评价,并向审批该专项规划的机关提出环境影响报告书。”这对提高各级政府尤其是部长、省长、市长们的环保意识,对各行各业的可持续发展,无疑将起到巨大的推动作用。环境影响评价法实施后,无论是国务院有关部门,还是设区的市级以上人民政府,在做规划时都要考虑环评问题——如果不对所起草的规划组织环评,都将是违法行为;无论是哪一级审批机关,如果审批了没有组织环评的规划,都要负法律责任。这为落实环境保护参与政府综合决策和防止因重大决策失误而造成的环境破坏,提供了法律保障,将有效防止区域、布局性的污染失控和生态破坏。

同时,《环境影响评价法》在我国环保历史上首次对公众参与环评做出了普遍的明确要求。该法第十一条和第二十一条规定,除“国家规定需要保密的情形”外,“专项规划的编制机关对可能造成不良环境影响并直接涉及公众环境权益的规划,应当在该规划草案报送审批前”,“对环境可能造成重大影响、应当编制环境影响报告书的建设项目,建设单位应当在报批建设项目环境影响报告书前,”举行论证会、听证会,或者采取其他形式,征求有关单位、专家和公众对环境影响报告书草案的意见。”这充分体现了公正、公开、科学、民主的精神,对保障公民知情权、让公众参与决策提供了法律依据。

此外,《环境影响评价法》还增补了对环评进行跟踪检查和后评价的规定,在第15条、第19条、第27条、第28条、第29条、第33条中都明确规定:在跟踪评价中如发现问题,应及时采取改进措施;对环境影响评价不实、弄虚作假或者审批机关失职、渎职的,要追究法律责任。这些规定使环境影响评价的程序更加完整,有助于加强环境管理,保证环评的质量。

2 战略环境影响评价(SEA)

SEA 是 EIA 在战略层次上的应用,是指对政策、计划或规划及其替代方案的环境影响进行系统的评价过程。战略环境影响评价的范围可以是部门、国家甚至全球,识别的影响是宏观的和综合的,评价的方法多为定性的或半定量的各种综合判断、分析的方法。

SEA 由负有公共责任的国家机构或政府部门组织进行,通过部门间合作及有关专家和公众的参与,充分考虑各种因素对环境的影响,通过环境、经济和社会综合决策,对相应的发展战略进行客观、全面的环境影响评价。因此,战略环境影响评价是在真正意义上以主动的、积极的姿态,来对人类的活动进行预先评价,为决

策提供高层的、早期的、更具战略性的信息。在理论思想和工作方法上,战略环境影响评价与可持续发展理论相统一,是可持续发展思想在环境影响评价领域内最高层的和最良好的体现。从理论上讲,关于政策的战略环境影响评价应该是最早执行的,发展计划、行业发展规划次之,而建设项目的环境影响评价则是最后进行。

在我国,《中国 21 世纪议程》中已明确提出要"开展对现行政策和法规的全面评价"。1993 年,在上海召开的"影响评价国际联合会第十三届年会"上,正式提出要开展战略和发展政策的 EIA。当前,我国开展的 SEA 并不多,其方法还并不成熟,但是随着社会、经济的发展,可持续发展的需要,我国 SEA 有在更广泛的范围内展开的迫切要求和趋势。

3. 生命周期评价(LCA)

生命周期评价是指对产品从最初的原材料采掘到原材料生产、产品制造、产品使用,以及产品用后处理的全过程进行跟踪和定量分析(即所谓的从摇篮到坟墓)与定性评价。生命周期评价是从产品这一特殊的角度,研究其"从摇篮到坟墓"的全过程对环境的影响。

生命周期评价最早出现于 20 世纪 60 年代末 70 年代初美国开展的一系列针对包装品的分析、评价,当时称为资源与环境状况分析(REPA)。但生命周期评价的概念是 1990 年在由国际环境毒理学与化学学会(SETAC)主持召开的有关生命周期评价的国际研讨会上首次提出。当前生命周期评价已形成了基本的概念框架和技术框架,成为产业生态学的主要理论和方法。国际标准化组织(ISO)正在制定的 ISO14000 环境管理体系亦将生命周期评价作为该体系的一个重要步骤。目前对生命周期评价的理论与方法的研究将是 21 世纪生态学与环境管理的前沿领域,也是实现全球可持续发展的具体行动方案。

生命周期评价作为一种环境管理工具,不仅对当前的环境冲突进行有效的定量化的分析、评价,而且对产品及其"从摇篮到坟墓"的全过程所涉及的环境问题进行评价,因而是"面向产品环境管理"的重要支持工具。它既可用于企业产品的开发与设计,又可有效地支持政府环境管理部门的环境政策制定,同时也可提供明确的产品环境标志,从而指导消费者的环境产品消费行为。比如,在企业层次上,以一些国际著名的跨国企业为龙头,一方面开展了生命周期评价方法研究,另一方面积极开展各种产品,尤其是高新技术产品的生命周期评价工作。在环境政策层次上,很多发达国家已利用生命周期评价制定"面向产品的环境政策",北欧及欧盟已制定了一些"从摇篮到坟墓"的环境产品政策。在产品消费层次上,如"欧盟产品环境标志计划",已颁布了一些产品的环境标志,用于指导消费行为。

目前生命周期评价在方法上还不十分成熟,仍有许多问题需要研究。值得欣慰的是,国际环境毒理学与化学学会(SETAC)与 ISO 已经在积极促进生命周期评

价方法的国际标准化研究。ISO14040 标准(环境管理——生命周期评价的原则与框架)已于 1997 年颁布,相应的标准 ISO14041(清单分析),ISOl4042(影响评价),19014043(影响说明解释)也将在今后几年中予以颁布。该标准体系拟对生命周期评价的概念和技术框架及实施步骤进行标准化。

4. 累积影响评价(CIA)

累积影响问题最先由美国提出。美国环境质量委员会(CEQ)认为累积影响是指"当一项活动与其过去、现在及可以合理预见的将来的活动结合在一起时,因影响的增加而产生的对环境的影响"。当一个项目的环境影响与另一个项目的环境影响以协同的方式结合,或当若干个项目对环境产生的影响在时间上过于频繁或在空间上过于密集,以至于各项目的影响得不到及时消费时,都会产生累积影响。

累积影响评价是指对累积影响的产生、发展过程进行系统地识别和评价,并提出适当的预防或减缓措施的过程。累积影响评价在空间上将分析范围扩展到区域或全球水平,考虑多项活动的相互关系,时间上则不只是考虑预测的影响,还要考虑过去和当前的影响,明显地体现出评价的动态性。

累积影响评价的思想符合并体现了可持续发展的要求。可持续发展规划需要对重要环境变量的累积影响进行系统的识别和分析,为相关决策和环境管理提供必要的依据,而累积影响评价正是朝着这个目标进行的。累积影响评价用综合的、发展的眼光识别环境影响,其思想方法和工作模式与可持续发展相一致。

目前,我国许多环境工作者和环境管理人员已认识到累积影响评价的重要性,一些环境科学研究单位已开展了 CIA 的研究工作。在国外,累积 EIA 的研究已开始了较长时间,并主要集中在美国、加拿大和新西兰。美国环境质量委员会(CEQ)1978 年规定联邦部门的行动必须考虑累积环境影响。美国、加拿大 1989 年在加拿大专门召开了一次关于累积影响评价的双边会议。新西兰国会 1991 年通过的新西兰资源管理法(RMA)指出在 ELL 中必须包括累积环境影响。由于 CIA 是一个综合的和动态的过程,并涉及多个学科领域,在具体操作方法上比较复杂,所以其定义、工作方法等还需统一或标准化,实际应用也比较少。但是,CIA 适应可持续发展的要求,并可弥补传统环境影响评价的一些缺陷,可真正成为协调经济发展和环境保护,实现可持续发展战略目标的有力工具。

5. 环境风险评价(ERA)

环境风险是指可能对环境构成危害后果的概率事件。这种事件的发生的不确定性,其后果往往是严重的,可导致一定范围环境条件恶化,破坏人群正常生产和生活活动,引起局部生态系统的破坏和毁灭。环境风险评价,广义上讲是指人类的各种开发行动所引发的或面临的危害(包括自然灾害)对人体健康、社会经济发展、

生态系统等所造成的风险可能带来的损失进行评估,并据此进行管理和决策的过程。狭义地,常指对有毒化学物质危害人体健康的影响程度进行概率估计,并提出减小环境风险的方案和对策。环境风险评价包括四个基本步骤,即环境风险识别、环境风险预计以及环境风险评价与环境风险管理。

环境风险识别就是根据因果分析的原则,把环境系统中能给人类社会、生态系统带来风险的因素识别出来的过程。也可以说是回答:“哪些环境风险应当考虑?”“引起这些环境风险的主要原因是什么?”等问题的过程。

环境风险预计或称环境风险度量,是指对环境风险的大小以及事件的后果(包括事件涉及的时空范围和强度等)进行预测和量度。环境风险预测常常采用定量化的方式估计不利事件发生的概率以及造成后果的严重程度来表示。例如,用单位时间内不希望出现的后果或某种损失超过正常值或背景值的增量来表征环境风险,而环境风险评价,是根据风险分析、预计的结果,结合风险事件的承受者的承受能力,确定风险是否可以接受。

环境风险管理要提出减小风险的措施、行动、建议与对策。

目前,一般按评价对象,把 ERA 分为三类,即自然灾害的风险评价、有毒有害化学品风险评价和生产过程与建设项目的风险评价。

自然灾害的环境风险评价,是指对地震、火山、洪水、台风等自然灾害的发生及其带来的化学性和物理性风险进行评价。

化学品的环境风险评价,是确定某种化学物品从生产、运输、消耗到最终进入环境的整个过程中,乃至进入环境后,对人体健康、生态系统造成危害的可能性及其后果的评价。

生产过程与建设项目的环境风险评价,是针对一个生产过程或建设项目本身引起的风险进行评价。它所考虑的是生产过程与建设项目引发的、具有不确定性的危害事件发生的概率及其危害后果。

参考文献

陈焕章.1997.实用环境管理学.武汉:武汉大学出版社

丁桑岚.2001.环境评价概论.北京:化学工业出版社

陆书玉.2001.环境影响评价.北京:高等教育出版社

叶文虎.2000.环境管理学.北京:高等教育出版社

附录

中华人民共和国环境影响评价法

（2002年10月28日第九届全国人民代表大会常务委员会第三十次会议通过）

第一章　总　　则

第一条　为了实施可持续发展战略，预防因规划和建设项目实施后对环境造成不良影响，促进经济、社会和环境的协调发展，制定本法。

第二条　本法所称环境影响评价，是指对规划和建设项目实施后可能造成的环境影响进行分析、预测和评估，提出预防或者减轻不良环境影响的对策和措施，进行跟踪监测的方法与制度。

第三条　编制本法第九条所规定的范围内的规划，在中华人民共和国领域和中华人民共和国管辖的其他海域内建设对环境有影响的项目，应当依照本法进行环境影响评价。

第四条　环境影响评价必须客观、公开、公正，综合考虑规划或者建设项目实施后对各种环境因素及其所构成的生态系统可能造成的影响，为决策提供科学依据。

第五条　国家鼓励有关单位、专家和公众以适当方式参与环境影响评价。

第六条　国家加强环境影响评价的基础数据库和评价指标体系建设，鼓励和支持对环境影响评价的方法、技术规范进行科学研究，建立必要的环境影响评价信息共享制度，提高环境影响评价的科学性。

国务院环境保护行政主管部门应当会同国务院有关部门，组织建立和完善环境影响评价的基础数据库和评价指标体系。

第二章　规划的环境影响评价

第七条　国务院有关部门、设区的市级以上地方人民政府及其有关部门，对其组织编制的土地利用的有关规划，区域、流域、海域的建设、开发利用规划，应当在规划编制过程中组织进行环境影响评价，编写该规划有关环境影响的篇章或者说明。

规划有关环境影响的篇章或者说明，应当对规划实施后可能造成的环境影响作出分析、预测和评估，提出预防或者减轻不良环境影响的对策和措施，作为规划草案的组成部分一并报送规划审批机关。

未编写有关环境影响的篇章或者说明的规划草案，审批机关不予审批。

第八条　国务院有关部门、设区的市级以上地方人民政府及其有关部门，对其组织编制的工业、农业、畜牧业、林业、能源、水利、交通、城市建设、旅游、自然资源开发的有关专项规划（以下简称专项规划），应当在该专项规划草案上报审批前，组织进行环境影响评价，并向审批该专项规划的机关提出环境影响报告书。

前款所列专项规划中的指导性规划，按照本法第七条的规定进行环境影响评价。

第九条　依照本法第七条、第八条的规定进行环境影响评价的规划的具体范围，由国务院环境保护行政主管部门会同国务院有关部门规定，报国务院批准。

第十条　专项规划的环境影响报告书应当包括下列内容：

（一）实施该规划对环境可能造成影响的分析、预测和评估；

（二）预防或者减轻不良环境影响的对策和措施；

（三）环境影响评价的结论。

第十一条　专项规划的编制机关对可能造成不良环境影响并直接涉及公众环境权益的规划，应当在该规划草案报送审批前，举行论证会、听证会，或者采取其他形式，征求有关单位、专家和公众对环境影响报告书草案的意见。但是，国家规定需要保密的情形除外。

编制机关应当认真考虑有关单位、专家和公众对环境影响报告书草案的意见，并应当在报送审查的环境

影响报告书中附具对意见采纳或者不采纳的说明。

第十二条　专项规划的编制机关在报批规划草案时,应当将环境影响报告书一并附送审批机关审查;未附送环境影响报告书的,审批机关不予审批。

第十三条　设区的市级以上人民政府在审批专项规划草案,作出决策前,应当先由人民政府指定的环境保护行政主管部门或者其他部门召集有关部门代表和专家组成审查小组,对环境影响报告书进行审查。审查小组应当提出书面审查意见。

参加前款规定的审查小组的专家,应当从按照国务院环境保护行政主管部门的规定设立的专家库内的相关专业的专家名单中,以随机抽取的方式确定。

由省级以上人民政府有关部门负责审批的专项规划,其环境影响报告书的审查办法,由国务院环境保护行政主管部门会同国务院有关部门制定。

第十四条　设区的市级以上人民政府或者省级以上人民政府有关部门在审批专项规划草案时,应当将环境影响报告书结论以及审查意见作为决策的重要依据。

在审批中未采纳环境影响报告书结论以及审查意见的,应当作出说明,并存档备查。

第十五条　对环境有重大影响的规划实施后,编制机关应当及时组织环境影响的跟踪评价,并将评价结果报告审批机关;发现有明显不良环境影响的,应当及时提出改进措施。

第三章　建设项目的环境影响评价

第十六条　国家根据建设项目对环境的影响程度,对建设项目的环境影响评价实行分类管理。

建设单位应当按照下列规定组织编制环境影响报告书、环境影响报告表或者填报环境影响登记表(以下统称环境影响评价文件):

(一) 可能造成重大环境影响的,应当编制环境影响报告书,对产生的环境影响进行全面评价;

(二) 可能造成轻度环境影响的,应当编制环境影响报告表,对产生的环境影响进行分析或者专项评价;

(三) 对环境影响很小、不需要进行环境影响评价的,应当填报环境影响登记表。

建设项目的环境影响评价分类管理名录,由国务院环境保护行政主管部门制定并公布。

第十七条　建设项目的环境影响报告书应当包括下列内容:

(一) 建设项目概况;

(二) 建设项目周围环境现状;

(三) 建设项目对环境可能造成影响的分析、预测和评估;

(四) 建设项目环境保护措施及其技术、经济论证;

(五) 建设项目对环境影响的经济损益分析;

(六) 对建设项目实施环境监测的建议;

(七) 环境影响评价的结论。

涉及水土保持的建设项目,还必须有经水行政主管部门审查同意的水土保持方案。

环境影响报告表和环境影响登记表的内容和格式,由国务院环境保护行政主管部门制定。

第十八条　建设项目的环境影响评价,应当避免与规划的环境影响评价相重复。

作为一项整体建设项目的规划,按照建设项目进行环境影响评价,不进行规划的环境影响评价。

已经进行了环境影响评价的规划所包含的具体建设项目,其环境影响评价内容建设单位可以简化。

第十九条　接受委托为建设项目环境影响评价提供技术服务的机构,应当经国务院环境保护行政主管部门考核审查合格后,颁发资质证书,按照资质证书规定的等级和评价范围,从事环境影响评价服务,并对评价结论负责。为建设项目环境影响评价提供技术服务的机构的资质条件和管理办法,由国务院环境保护行政主管部门制定。

国务院环境保护行政主管部门对已取得资质证书的为建设项目环境影响评价提供技术服务的机构的名单,应当予以公布。

为建设项目环境影响评价提供技术服务的机构,不得与负责审批建设项目环境影响评价文件的环境保护行政主管部门或者其他有关审批部门存在任何利益关系。

第二十条 环境影响评价文件中的环境影响报告书或者环境影响报告表,应当由具有相应环境影响评价资质的机构编制。

任何单位和个人不得为建设单位指定对其建设项目进行环境影响评价的机构。

第二十一条 除国家规定需要保密的情形外,对环境可能造成重大影响、应当编制环境影响报告书的建设项目,建设单位应当在报批建设项目环境影响报告书前,举行论证会、听证会,或者采取其他形式,征求有关单位、专家和公众的意见。

建设单位报批的环境影响报告书应当附具对有关单位、专家和公众的意见采纳或者不采纳的说明。

第二十二条 建设项目的环境影响评价文件,由建设单位按照国务院的规定报有审批权的环境保护行政主管部门审批;建设项目有行业主管部门的,其环境影响报告书或者环境影响报告表应当经行业主管部门预审后,报有审批权的环境保护行政主管部门审批。

海洋工程建设项目的海洋环境影响报告书的审批,依照《中华人民共和国海洋环境保护法》的规定办理。

审批部门应当自收到环境影响报告书之日起六十日内,收到环境影响报告表之日起三十日内,收到环境影响登记表之日起十五日内,分别作出审批决定并书面通知建设单位。

预审、审核、审批建设项目环境影响评价文件,不得收取任何费用。

第二十三条 国务院环境保护行政主管部门负责审批下列建设项目的环境影响评价文件:

(一) 核设施、绝密工程等特殊性质的建设项目;

(二) 跨省、自治区、直辖市行政区域的建设项目;

(三) 由国务院审批的或者由国务院授权有关部门审批的建设项目。

前款规定以外的建设项目的环境影响评价文件的审批权限,由省、自治区、直辖市人民政府规定。

建设项目可能造成跨行政区域的不良环境影响,有关环境保护行政主管部门对该项目的环境影响评价结论有争议的,其环境影响评价文件由共同的上一级环境保护行政主管部门审批。

第二十四条 建设项目的环境影响评价文件经批准后,建设项目的性质、规模、地点、采用的生产工艺或者防治污染、防止生态破坏的措施发生重大变动的,建设单位应当重新报批建设项目的环境影响评价文件。

建设项目的环境影响评价文件自批准之日起超过五年,方决定该项目开工建设的,其环境影响评价文件应当报原审批部门重新审核;原审批部门应当自收到建设项目环境影响评价文件之日起十日内,将审核意见书面通知建设单位。

第二十五条 建设项目的环境影响评价文件未经法律规定的审批部门审查或者审查后未予批准的,该项目审批部门不得批准其建设,建设单位不得开工建设。

第二十六条 建设项目建设过程中,建设单位应当同时实施环境影响报告书、环境影响报告表以及环境影响评价文件审批部门审批意见中提出的环境保护对策措施。

第二十七条 在项目建设、运行过程中产生不符合经审批的环境影响评价文件的情形的,建设单位应当组织环境影响的后评价,采取改进措施,并报原环境影响评价文件审批部门和建设项目审批部门备案;原环境影响评价文件审批部门也可以责成建设单位进行环境影响的后评价,采取改进措施。

第二十八条 环境保护行政主管部门应当对建设项目投入生产或者使用后所产生的环境影响进行跟踪检查,对造成严重环境污染或者生态破坏的,应当查清原因、查明责任。对属于为建设项目环境影响评价提供技术服务的机构编制不实的环境影响评价文件的,依照本法第三十三条的规定追究其法律责任;属于审批部门工作人员失职、渎职,对依法不应批准的建设项目环境影响评价文件予以批准的,依照本法第三十五条

的规定追究其法律责任。

第四章　法律责任

第二十九条　规划编制机关违反本法规定，组织环境影响评价时弄虚作假或者有失职行为，造成环境影响评价严重失实的，对直接负责的主管人员和其他直接责任人员，由上级机关或者监察机关依法给予行政处分。

第三十条　规划审批机关对依法应当编写有关环境影响的篇章或者说明而未编写的规划草案，依法应当附送环境影响报告书而未附送的专项规划草案，违法予以批准的，对直接负责的主管人员和其他直接责任人员，由上级机关或者监察机关依法给予行政处分。

第三十一条　建设单位未依法报批建设项目环境影响评价文件，或者未依照本法第二十四条的规定重新报批或者报请重新审核环境影响评价文件，擅自开工建设的，由有权审批该项目环境影响评价文件的环境保护行政主管部门责令停止建设，限期补办手续；逾期不补办手续的，可以处五万元以上二十万元以下的罚款，对建设单位直接负责的主管人员和其他直接责任人员，依法给予行政处分。

建设项目环境影响评价文件未经批准或者未经原审批部门重新审核同意，建设单位擅自开工建设的，由有权审批该项目环境影响评价文件的环境保护行政主管部门责令停止建设，可以处五万元以上二十万元以下的罚款，对建设单位直接负责的主管人员和其他直接责任人员，依法给予行政处分。

海洋工程建设项目的建设单位有前两款所列违法行为的，依照《中华人民共和国海洋环境保护法》的规定处罚。

第三十二条　建设项目依法应当进行环境影响评价而未评价，或者环境影响评价文件未经依法批准，审批部门擅自批准该项目建设的，对直接负责的主管人员和其他直接责任人员，由上级机关或者监察机关依法给予行政处分；构成犯罪的，依法追究刑事责任。

第三十三条　接受委托为建设项目环境影响评价提供技术服务的机构在环境影响评价工作中不负责任或者弄虚作假，致使环境影响评价文件失实的，由授予环境影响评价资质的环境保护行政主管部门降低其资质等级或者吊销其资质证书，并处所收费用一倍以上三倍以下的罚款；构成犯罪的，依法追究刑事责任。

第三十四条　负责预审、审核、审批建设项目环境影响评价文件的部门在审批中收取费用的，由其上级机关或者监察机关责令退还；情节严重的，对直接负责的主管人员和其他直接责任人员依法给予行政处分。

第三十五条　环境保护行政主管部门或者其他部门的工作人员徇私舞弊，滥用职权，玩忽职守，违法批准建设项目环境影响评价文件的，依法给予行政处分；构成犯罪的，依法追究刑事责任。

第五章　附　　则

第三十六条　省、自治区、直辖市人民政府可以根据本地的实际情况，要求对本辖区的县级人民政府编制的规划进行环境影响评价。具体办法由省、自治区、直辖市参照本法第二章的规定制定。

第三十七条　军事设施建设项目的环境影响评价办法，由中央军事委员会依照本法的原则制定。

第三十八条　本法自 2003 年 9 月 1 日起施行。